Supadi, S.Si., M.Si.
Dewi Rossalia, M.Pd.
Yhoseph Gita, S.Si., M.T.

media

BIG BOOK

FISIKA

SMA KELAS 1, 2, & 3

METODE TERBAIK
MERAIH NILAI UJIAN
9 ATAU BAHKAN 10

- Kumpulan Lengkap Ringkasan Materi
- Kumpulan Lengkap Rumus Praktis
- Soal & Pembahasan Terupdate
- Latihan & Evaluasi

FREE ANDROID APPS
• Apps TOEFL CMEDIA
• Apps TRYOUT SBMPTN
GET IT ON
Google play

FREE TRY OUT ONLINE
www.rajatryout.com

1.028 SOAL

BONUS BEASISWA 100 JUTA

Supadi, S.Si., M.Si.
Dewi Rossalia, M.Pd.
Yhoseph Gita, S.Si., M.T.

media

BIG BOOK FISIKA

SMA KELAS 1, 2, & 3

BIG BOOK
FISIKA SMA KELAS 1, 2, & 3

Penyusun: Supadi, S.Si., M.Si., Dewi Rossalia, M.Pd., Yhoseph Gita Yun Yhuwana, S.Si., M.T
Penyunting: Taqwa
Proofreader: Arman H
Layout: Nonos
Ilustrasi: Nunu
Pendesain sampul: Jimmy
Diterbitkan pertama kali oleh: Penerbit Cmedia
Imprint Kawan Pustaka

Redaksi:
Jl. H. Montong No. 57, Ciganjur, Jagakarsa
Jakarta Selatan 12630
Telp. (021) 78883030 Ext. 213, 214, 216
Faks. (021) 7270996
E-mail: redaksi@penerbitcmedia.com
Website: www.penerbitcmedia.com

Distributor:
PT KAWAHmedia
Jl. M. Kahfi II No. 12A, Srengseng Sawah,
Jagakarsa, Jakarta Selatan 12630
Telp. (021) 78881000 Ext. 120, 121, 122
Faks. (021) 78882000
E-mail: kawahmedia@gmail.com

Cetakan pertama, 2015
Hak cipta dilindungi oleh undang-undang

Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Supadi, S.Si., M.Si.; Big Book Fisika SMA Kelas 1, 2, & 3;
Penyunting, Taqwa. --- Cet. 1. --- Jakarta: Cmedia, 2015
vi + 642 hal, 22 cm

ISBN 978-602-1609-75-0
1. Big Book Fisika SMA
I. Judul.
II. Taqwa
III. Seri.

370

Jika Anda menemukan kesalahan cetak, cacat produk, atau kesalahan lain dalam buku ini, silakan kontak kami, atau kembalikan kepada kami untuk kami ganti.

PRAKATA

Dengan mengucapkan puji syukur yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT, akhirnya penulis dapat mewujudkan ide penulisan buku ini.

Big Book Fisika SMA Kelas 1, 2, & 3 hadir sebagai solusi siswa untuk menghadapi ulangan harian, ujian tengah dan kahir semester, ujian sekolah, ujian nasional, hingga seleksi bersama masuk perguruan tinggi (SBMPTN), serta seleksi mandiri masuk perguruan tinggi negeri, disusun untuk memperkaya bahan kepustakaan ilmu fisika pada tingkat SMA/MA sederajat. Selain itu, buku ini bertujuan untuk mempermudah pengajar dan siswa dalam mempelajari ilmu fisika.

Konsep buku ini disajikan sesederhana mungkin, dilengkapi dengan beberapa rumus praktis, contoh soal dan pembahasan, serta trik penyelesaian soal dengan *solusi smart*.

Semoga buku ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu fisika di masa depan.

Penulis

DAFTAR ISI

Pengukuran, Besaran, dan Satuan 1

Kinematika 27

Dinamika Gerak dan Gaya 55

Gerak Melingkar 83

Gravitasi Newton dan Elastisitas 107

Usaha dan Energi 131

Momentum dan Impuls 155

Benda Tegar 185

Fluida 217

Suhu dan Kalor 247

Teori Kinetik Gas 273

Termodinamika 293

Elektrostatika 319

Elektrodinamika 349

Medan Magnetik 375

Induksi Elektromagnetik 399

Arus dan Tegangan Listrik Bolak-Balik 423

Getaran 447

Gelombang Mekanik 469

Gelombang Cahaya 499

Optika Geometri 521

Dualisme Gelombang Partikel 549

Inti Atom 569

Relativistik 593

Soal Evaluasi 615

Kunci Jawaban 628

Fisika (bahasa Yunani: fysikós, "alamiah" atau fýsis, "alam") adalah ilmu tentang alam dalam makna yang terluas.

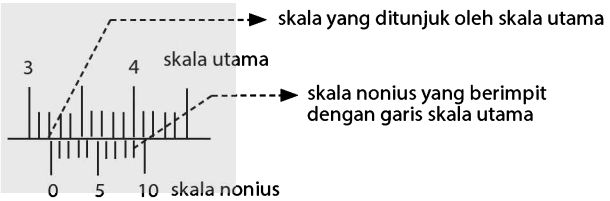
PENGUKURAN, BESARAN, DAN SATUAN

1

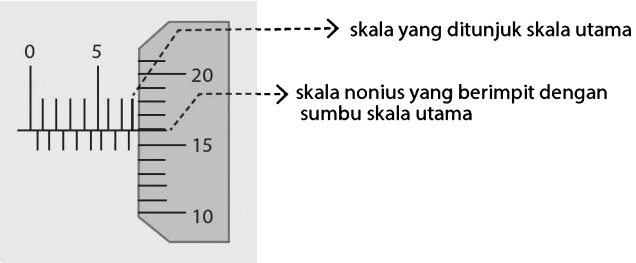
A. INSTRUMEN PENGUKURAN

Instrumen/alat untuk mengukur besaran panjang, antara lain:

- *Mistar*, memiliki skala terkecil sebesar 1 mm dan ketelitiannya sebesar 0,5 mm.
- *Jangka sorong*, memiliki skala terkecil dan ketelitiannya sebesar 0,1 mm



- *Mikrometer sekrup*, memiliki skala terkecil dan ketelitiannya sebesar 0,01 mm.



Alat ukur besaran fisika lainnya, adalah:

- *Neraca Ohaus*, *neraca pegas*, dan *timbangan* berfungsi untuk mengukur besaran massa.
- *Stopwatch*, berfungsi untuk mengukur besaran waktu.

B. ANGKA PENTING

Angka penting adalah angka hasil pengukuran yang terdiri dari angka pasti dan angka taksiran.

a. Aturan Angka penting yang Diperoleh dari Suatu Pengukuran

1. *Semua angka bukan nol merupakan angka penting.*
   Misal:
   - 548 → memiliki 3 angka penting
   - 1,872 → memiliki 4 angka penting
2. *Semua angka nol yang terletak di antara dua angka bukan nol termasuk angka penting.*
   Misal:
   - 3005 → memiliki 4 angka penting
   - 2034 → memiliki 4 angka penting
3. *Angka nol yang terletak di sebelah kanan angka bukan nol termasuk angka penting*, kecuali *ada penjelasan lain (biasanya diberi tanda garis bawah pada angka terakhir yang masih dianggap angka penting.*
   Misal:
   - 22,1000 → memiliki 6 angka penting
   - 22,1<u>0</u>0 → memiliki 4 angka penting
4. *Angka nol yang terletak di sebelah kanan tanda koma dan angka bukan nol termasuk angka penting.*
   Misal:
   - 2,034 → memiliki 4 angka penting
   - 3,005 → memiliki 4 angka penting
5. *Angka nol yang terletak di sebelah kiri angka bukan nol, baik yang yang terletak di sebelah kiri maupun sebelah kanan tanda koma*

bukan angka penting.

Misal:

- 0,63 → memiliki 2 angka penting
- 0,005 → memiliki 1 angka penting

6. *Semua angka sebelum orde dalam notasi ilmiah termasuk angka penting*.

   Misal:

   - $0{,}63 = 63 \times 10^{-2}$ → memiliki 2 angka penting
   - $0{,}005 = 5 \times 10^{-3}$ → memiliki 1 angka penting

h. Aturan Operasi Hitung pada Angka Penting

Hasil operasi hitung dari dua faktor atau lebih dari hasil pengukuran *harus* memiliki angka penting sebanyak (sama banyak) dengan faktor yang memiliki *angka penting terkecil*, dengan aturan:

1. Angka-angka yang lebih besar dari 5 dibulatkan ke atas
2. Angka-angka yang lebih kecil dari 5 dibulatkan ke bawah
3. Angka 5 dibulatkan ke atas jika angka sebelumnya ganjil, dan dibulatkan ke bawah jika angka sebelumnya genap.

C. NOTASI ILMIAH

Notasi ilmiah digunakan untuk menyederhanakan penulisan bilangan hasil pengukuran besaran fisika yang nilainya sangat besar atau sebaliknya, dinyatakan sebagai berikut.

$$a \times 10^n$$

dengan, $1 < a < 10$; 10^n = orde; dan n = eksponen atau pangkat = 0, 1, 2, 3, . . . (bilangan bulat)

D. KETIDAKPASTIAN HASIL PENGUKURAN

Hasil pengukuran tunggal dinyatakan dengan:

$$x = x_0 \pm \Delta x$$

dengan,

x = besaran fisika yang diukur

x_0 = nilai besaran hasil pengukuran tunggal

Δx = ketidakpastian pengukuran = ½ × skala terkecil alat ukur

$$\text{Ketidakpastian relatif} = \frac{\Delta x}{x_0} \times 100\%$$

Hasil pengukuran berulang dinyatakan:

$$x = \bar{x} \pm \Delta x$$

dengan,

n = jumlah pengulangan pengukuran.

$\bar{x}$ = nilai rata-rata besaran $x = \dfrac{x_1 + x_2 + x_3 + \ldots + x_n}{n} = \dfrac{\sum x_i}{n}$

Δx = ketidakpastian pengukuran = $\dfrac{1}{n}\sqrt{\dfrac{n\sum x_i^2 - \left(\sum x_i\right)^2}{n-1}}$

E. BESARAN FISIKA

Besaran pokok, yaitu besaran yang satuannya telah ditetapkan terlebih dahulu dan tidak bergantung pada besaran lainnya.

Besaran pokok	Satuan	Lambang satuan
panjang	meter	m
waktu	sekon (detik)	s
massa	kilogram	kg
suhu	kelvin	K
arus listrik	ampere	A
intensitas cahaya	kandela	Cd
jumlah zat	mol	mol
sudut bidang	radian	rad
sudut ruang	steradian	Sr

Besaran turunan, yaitu besaran yang satuannya diturunkan dari besaran pokok atau besaran yang terbentuk dari beberapa besaran pokok.

Besaran turunan	Rumus	Satuan
luas (A)	panjang × lebar	m^2
volume (V)	panjang × lebar × tinggi	m^3
massa jenis (ρ)	massa : volume	$kg.m^{-3}$
kecepatan (v)	perpindahan : waktu	$m.s^{-1}$
percepatan (a)	kecepatan : waktu	$m.s^{-2}$
gaya (F)	massa × percepatan	$kg.m.s^{-2}$
usaha atau energi (W)	gaya × perpindahan	$kg.m^2.s^{-2}$
tekanan (P)	gaya : luas	$kg.m^{-1}.s^{-2}$
daya (P)	usaha : waktu	$kg.m^2.s^{-3}$
momentum (p)	gaya × waktu	$kg.m.s^{-1}$

Berdasarkan arahnya, besaran fisika dibedakan menjadi dua, yaitu:
Besaran skalar, yaitu besaran fisika yang hanya memiliki besar (magnitude) tetapi tidak memiliki arah, misalnya besaran pajang, waktu, massa, jarak, kelajuan dan lain-lain.
Besaran vektor, yaitu besaran fisika yang memiliki besar (magnitude) dan arah, misal: perpindahan, kecepatan, percepatan, gaya, momentum, momen gaya, dan lain-lain.

F. KONVERSI SATUAN DAN DIMENSI BESARAN FISIKA

a. Konversi Satuan

Konversi satuan dapat dilakukan dengan menyisipkan faktor konversi yang cocok yang membuat satuan lain ditiadakan, kecuali satuan yang dikehendaki. Faktor konversi merupakan perbandingan dua satuan besaran sehingga sama dengan satu.
Misal:
21,5 inci = . . . cm

$1\ \text{inci} = 2{,}54\ \text{cm} \Leftrightarrow 2{,}54\ \frac{\text{cm}}{\text{inci}} = 1 \rightarrow$ **faktor konversi**.
maka,

$$21{,}5\ \text{inci} = (21{,}5\ \cancel{\text{inci}})\ x\left(2{,}54\ \frac{\text{cm}}{\cancel{\text{inci}}}\right) = 54{,}6\ \text{cm}$$

h. Dimensi Desaran Fisika

Dimensi suatu besaran fisika menunjukkan bagaimana cara suatu besaran tersusun oleh besaran-besaran pokok.

Besaran pokok	Satuan	Lambang satuan	Dimensi
panjang	meter	m	[L]
waktu	sekon	s	[T]
massa	kilogram	kg	[M]
suhu	kelvin	K	[θ]
arus listrik	ampere	A	[I]
intensitas cahaya	kandela	Cd	[J]
jumlah zat	mol	mol	[N]
sudut bidang	radian	rad	–
sudut ruang	steradian	Sr	–

Manfaat dimensi adalah menurunkan satuan dari suatu besaran dan meneliti kebenaran suatu rumus atau persamaan fisika.

TIPS!!!

Cara menentukan dimensi suatu besaran:

- tentukan rumus dasar besaran yang akan ditentukan besaran dimensionalnya
- tentukan satuan masing-masing besaran dalam satuan besaran pokok
- tentukan masing-masing satuan besaran pokok tersebut dalam besaran dimensionalnya.

Dua buah besaran dikatakan setara jika keduanya memiliki dimensi sama.

- kecepatan = m/s = $m \times s^{-1} = [L][T]^{-1}$.
- percepatan = $m/s^2 = m \times s^{-2} = [L][T]^{-2}$.
- gaya = $kg \times m/s^2 = kg \times m \times s^{-2} = [M]\,[L][T]^{-2}$.
- usaha = gaya × pergeseran = $kg \times m/s^2 \times m = kg \times m^2 \times s^{-2} = [M]\,[L]^2\,[T]^{-2}$.
- daya = energi (usaha) : waktu = $kg \times m^2 \times s^{-3} = [M]\,[L]^2\,[T]^{-3}$.
- dimensi usaha = dimensi energi potensial

Jadi, besaran energi potensial setara dengan besaran usaha.

G. VEKTOR

Vektor adalah besaran yang memiliki nilai dan arah. Sebuah vektor digambarkan oleh sebuah anak panah. Panjang anak panah mewakili besar atau nilai vektor, sedangkan arah anak panah mewakili arah vektor.

$\vec{A}$ atau $\overrightarrow{AB}$ atau **A** atau **AB**

Besar (nilai) vektor **AB** dapat dinyatakan dengan *AB* atau |AB|.

a. Komponen Vektor

Komponen vektor adalah vektor-vektor yang bekerja pada saat yang bersamaan sehingga menghasilkan satu vektor dengan arah tertentu (resultan).

Vektor **F** dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mathbf{F} = F_x\,\mathbf{i} + F_y\,\mathbf{j}$$
$$\mathbf{F} = F\cos\alpha\,\mathbf{i} + F\sin\alpha\,\mathbf{j}$$

dengan i dan j merupakan vektor satuan arah sumbu-x dan sumbu-y.

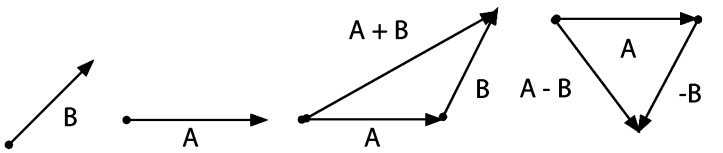
Besar dan arah vektor **F** dapat dinyatakan dengan rumus:

$$|F| = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}\,;\tan\alpha = \frac{F_y}{F_x}$$

h. Resultan Vektor

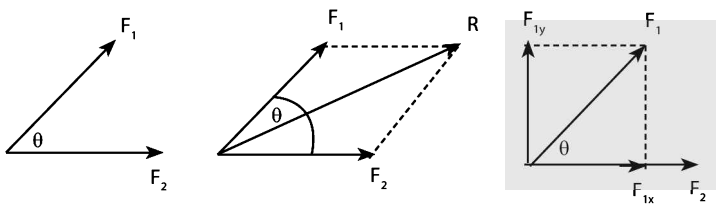
1. *Metode segitiga*

   Lukislah vektor pertama sesuai dengan nilai dan arahnya, lalu lukis vektor kedua sesuai dengan nilai dan arahnya dengan titik tangkapnya berimpit pada ujung vektor pertama. Hubungkan titik tangkap vektor pertama dengan ujung vektor kedua.



2. *Metode jajargenjang*

   Metode jajargenjang adalah metode penjumlahan dua vektor dengan menggambarkan garis-garis sejajar vektornya melalui ujung vektor yang lain sehingga terbentuk jajargenjang.



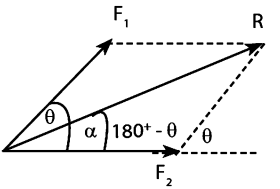
   Besar resultan vektor dapat diukur dari panjang diagonalnya. Secara matematis dapat dihitung dengan dalil Pythagoras:

$$R^2 = (F_{1x} + F_2)^2 + F_{1y}{}^2$$
$$= (F_1 \cos\theta + F_2)^2 + (F_1 \sin\theta)^2$$
$$= F_1^2 \cos^2\theta + 2F_1F_2 \cos\theta + F_2{}^2 + F_1^2 \sin^2\theta$$
$$= F_1^2 (\cos^2\theta + \sin^2\theta) + F_2{}^2 + 2F_1F_2 \cos\theta, \quad \textbf{Ingat}: \cos^2\theta + \sin^2\theta = 1$$
$$= F_1^2 + F_2{}^2 + 2F_1F_2 \cos\theta$$

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\theta}$$

Perhatikan gambar berikut!

Sudut antara vektor resultan (**R**) dengan $\mathbf{F}_2$ adalah α, sedangkan sudut antara **R** dengan $\mathbf{F}_1$ adalah ($\theta - \alpha$), maka secara matematis dapat dinyatakan:



$$\frac{F_1}{\sin\alpha} = \frac{F_2}{\sin(\theta-\alpha)} = \frac{R}{\sin(180^0-\theta)}$$

$$\frac{F_1}{\sin\alpha} = \frac{F_2}{\sin(\theta-\alpha)} = \frac{R}{\sin\theta}$$

Jika diketahui dua buah vektor F_1 dan F_2 mengapit sudut θ, maka:

a) Besar resultan vektor tersebut adalah $R = F_1 + F_2$, jika kedua vektor sejajar dan searah.

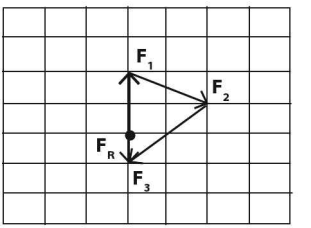
b) Besar resultan vektor tersebut adalah $R = F_1 - F_2$, jika kedua vektor berlawanan arah.

c) Besar resultan vektor tersebut adalah $R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$, jika kedua vektor saling tegak lurus.

d) Besar selisih kedua vektor adalah $R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2\cos\theta}$

3. *Metode poligon*

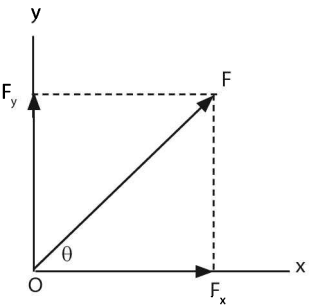
Metode poligon adalah cara mencari vektor resultan dengan menggambar. Salah satu vektor sebagai acuan dan vektor lain disambungkan dengan pangkal tepat pada ujung vektor sebelumnya.



Resultan vektor diperoleh dengan menggambar anak panah dari pangkal awal hingga ujung akhir.

4. *Metode analitis*

Jika beberapa vektor bekerja pada satu titik, maka vektor-vektor itu dapat diproyeksikan pada dua arah yang saling tegak lurus. Vektor-vektor yang sejajar dapat ditentukan resultannya dengan cara menjumlahkan atau mengurangkan. Metode dengan langkah-langkah seperti inilah yang dinamakan metode analitis.



Resultan gaya yang bekerja pada benda tersebut adalah:

$$\Sigma F = \sqrt{\left(\sum F_x\right)^2 + \left(\sum F_y\right)^2}$$

Arah resultan gaya terhadap sumbu-x adalah:

$$\tan\theta = \frac{\sum F_y}{\sum F_x}$$

c. Perkalian Vektor

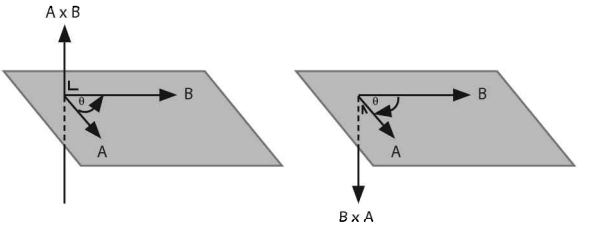
Perkalian titik dari dua buah vektor **A** dan **B** didefinisikan sebagai kuantitas skalar yang diperoleh dengan mengalikan besar kedua vektor dengan cosinus sudut antara kedua vektor/sudut apit (θ), yaitu:

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = A\,B\cos\theta$$

dengan,
θ = sudut apit antara vektor **A** dan **B** = $0° \leq \theta \leq 180°$.

Perkalian silang dari dua buah vektor **A** dan **B** didefinisikan sebagai suatu vektor yang arahnya tegak lurus bidang yang dibentuk oleh

vektor **A** dan **B** dan mengikuti kaidah tangan kanan.



Besar hasil perkalian silang adalah hasil kali besar masing-masing vektor dengan sudut apit (θ) antara kedua vektor dinyatakan:

$$|\mathbf{A} \times \mathbf{B}| = A\,B \cos\theta$$

CONTOH SOAL & PEMBAHASAN

1. Suatu pelat berbentuk segiempat setelah diukur dengan menggunakan alat ukur yang berbeda, diperoleh panjang 5,45 cm, lebar 6,2 cm, maka luas pelat tersebut menurut aturan penulisan angka penting adalah . . .

   A. 34 cm^2
   B. 33,8 cm^2
   C. 33,79 cm^2
   D. 33,790 cm^2
   E. 33,7900 cm^2

   Jawaban: A

   Hasil perkalian atau pembagian angka penting hanya boleh memiliki angka penting sebanyak angka penting yang paling sedikit.
   - panjang, p = 5,45 cm $\rightarrow$ tiga angka penting
   - lebar, l = 6,2 cm $\rightarrow$ dua angka penting

   Luas pelat harus memiliki dua angka penting, yaitu:

   L $= p \times l$
   $= 5{,}45 \text{ cm} \times 6{,}2 \text{ cm}$
   $= 33{,}79 \text{ cm}^2$
   $= 34 \text{ cm}^2 \rightarrow$ dua angka penting.

2. Seseorang melakukan pengukuran tebal buku tulis dengan jangka sorong. Hasil pengukurannya adalah 4,36 mm. Dengan memperhitungkan kesalahan mutlak, pembacaan dari hasil pengukuran tersebut dapat dituliskan menjadi . . .

A. (4,36 ± 0,01) mm
B. (4,36 ± 0,05) mm
C. (4,36 ± 0,1) mm
D. (4,36 ± 0,5) mm
E. (4,36 ± 1) mm

Jawaban: B

- Hasil pengukuran tunggal, $x_0 = 4{,}36$ mm
- Ketelitian (skala terkecil) jangka sorong = 0,1 mm

Hasil pengukuran tunggal dengan memperhitungkan kesalahan mutlaknya, dinyatakan:

$x = x_0 \pm \Delta x$
$= 4{,}36 \text{ mm} \pm \frac{1}{2} \times (\text{skala terkecil jangka sorong})$
$= 4{,}36 \text{ mm} \pm \frac{1}{2} (0{,}1 \text{ mm})$
$= 4{,}36 \text{ mm} \pm 0{,}05 \text{ mm}$

3. Tegangan antara ujung-ujung sebuah resistor adalah 200 V ± 2%. Jika hambatan resistor tersebut 40 Ω ± 1,5%, maka ketidakpastian relatif dayanya dalam W adalah . . .

A. 0,575 W
B. 0,375 W
C. 5,75 W
D. 7,55 W
E. 57,5 W

Jawaban: A

- $V = V_0 \pm \Delta V = 200 \text{ V} \pm 2\% = 200 \text{ V} \pm 0{,}02$
- $R = R_0 \pm \Delta R = 40\ \Omega \pm 1{,}5\% = 40\ \Omega \pm 0{,}015$

Daya dalam rangkaian tersebut adalah:

$$P_0 = \frac{V_0^2}{R_0}$$
$$= \frac{(200 \text{ V})^2}{40\ \Omega}$$
$$= 1.000 \text{ W}$$

Ketidakpastian pengukuran dayanya (ΔP) adalah:

$P = V^2 R^{-1}$

$$\Delta P = \left|\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_R \Delta V\right| + \left|\left(\frac{\partial P}{\partial R}\right)_V \Delta R\right|$$
$$= \left|2VR^{-1}\Delta V\right| + \left|-1V^2R^{-2}\Delta R\right|$$
$$= \frac{2V\Delta V}{R} + \frac{V^2\Delta R}{R^2}$$

Maka ketidakpastian relatif dayanya adalah:

$$\frac{\Delta P}{P_0} \times 100\% = \left(\frac{2\Delta V}{V} + \frac{\Delta R}{R}\right) \times 100\%$$
$$= \left(\frac{2 \times 0{,}02}{200} + \frac{0{,}015}{40}\right) \times 100\%$$
$$= (0{,}0002 + 0{,}000375) \times 100\%$$
$$= 0{,}000575 \times 100\%$$
$$= 0{,}0575\%.$$

Ketidakpastian mutlaknya adalah:

$\Delta P = 0{,}0575\% \times P_0$
$= 0{,}0575\% \times 1000\ W$
$= 0{,}575\ W.$

4. Energi yang dikandung sebuah objek dengan massa diam m diberikan oleh persamaan Einstein: $E = mc^2$, dengan c adalah laju cahaya dalam ruang hampa. Jika $m = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg dan $c = 2{,}99792458 \times 10^8\ ms^{-1}$, maka energi yang dikandung objek menurut aturan angka penting adalah . . .

A. $8{,}1877 \times 10^{-14}$ J
B. $8{,}188 \times 10^{-14}$ J
C. $8{,}187 \times 10^{-14}$ J
D. $8{,}18 \times 10^{-14}$ J
E. $8{,}19 \times 10^{-14}$ J

Jawaban: E

Hasil perkalian atau pembagian angka penting hanya boleh memiliki angka penting sebanyak angka penting yang paling sedikit.

- massa diam, $m = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg $\rightarrow$ tiga angka penting
- laju cahaya dalam ruang hampa, $c = 2{,}99792458 \times 10^{8}$ ms^{-1} $\rightarrow$ sembilan angka penting

Energi yang terkandung dalam massa harus memiliki tiga angka penting, yaitu:

$E = m \times c^2$

$= 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg $\times (2{,}99792458 \times 10^{8}$ ms$^{-1})^2$

$= 81{,}87659678 \times 10^{-15}$ J.

$= 8{,}187659678 \times 10^{-14}$ J.

$= 8{,}19 \times 10^{-14}$ J $\rightarrow$ tiga angka penting.

5. Massa jenis air dalam sistem CGS (cm - gram - sekon) adalah 1 g/cm^3. Jika massa jenis ini dikonversikan ke sistem internasional (SI) maka nilainya adalah . . .

A. 10^{-3} kg/mm^3
B. 10^{-1} kg/mm^3
C. 1 kg/m^3
D. 10 kg/m^3
E. 10^{3} kg/m^3

Jawaban: E

- massa jenis air, $\rho = 1$ g/cm^3 $\rightarrow$ satuan CGS.
  Massa jenis air dalam satuan Satuan Internasional (SI) adalah:

$$1 \text{ g/cm}^3 = \left(1 \frac{\cancel{\text{g}}}{\cancel{\text{cm}^3}}\right)\left(\frac{1}{10^3}\frac{\text{kg}}{\cancel{\text{g}}}\right)\left(10^6 \frac{\cancel{\text{cm}^3}}{\text{m}^3}\right)$$

$$= \frac{10^6}{10^3}\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$= 10^3 \text{ kg/m}^3.$$

6. Besaran yang dimensinya $[M]\,[L]^{-1}\,[T]^{-2}$ adalah . . .

A. Gaya
B. Momentum
C. Tekanan
D. Energi
E. Percepatan

Jawaban: C

- Dimensi suatu besaran = $[M]\,[L]^{-1}\,[T]^{-2}$.
  Satuan untuk dimensi [M], [L], dan [T] berturut-turut adalah kg, m, dan s.

$$[M]\,[L]^{-1}\,[T]^{-2} = kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$$
$$= \frac{kg \cdot m \cdot s^{-2}}{m^2}$$
$$= \frac{m \times a}{A}$$
$$= \frac{F}{A}$$
$$= p \rightarrow \text{tekanan.}$$

7. Daya adalah usaha per satuan waktu. Dimensi daya adalah . . .
   A. $[M]\,[L]\,[T]^{-2}$
   B. $[M]\,[L]^2\,[T]^{-2}$
   C. $[M]\,[L]^2\,[T]^{-3}$
   D. $[M]\,[L]^{-2}\,[T]^{-2}$
   E. $[M]\,[L]^{-3}\,[T]^{-2}$

   Jawaban: C

   Daya = usaha : waktu
   = (gaya × perpindahan) : waktu
   = (massa × percepatan × perpindahan) : waktu
   = $(kg \times m/s^2 \times m) : s$
   = $kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} : s$
   = $kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$
   = $[M]\,[L]^2\,[T]^{-3}$.

8. Dua buah vektor masing-masing besarnya F satuan dan bertitik tangkap sama. Jika resultan kedua vektor F satuan, sudut apit kedua vektor adalah . . .
   A. 30°
   B. 60°
   C. 90°
   D. 120°
   E. 150°

   Jawaban: D

   - Dua buah vektor $F_1 = F_2 = F$ satuan
   - Resultan dua buah vektor, R = F satuan

$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\theta}$

$F = \sqrt{F^2 + F^2 + 2FF\cos\theta}$

$F = \sqrt{F^2 + F^2 + 2F^2\cos\theta}$

$F = F\sqrt{2 + 2\cos\theta}$

$1 = \sqrt{2 + 2\cos\theta}$

$1 = 2 + 2\cos\theta$

$\frac{1}{2} = 1 + \cos\theta$

$-\frac{1}{2} = \cos\theta$

$\Leftrightarrow \cos\theta = \cos(180° - 60°)$

$\Leftrightarrow \cos\theta = 120°$

$\Leftrightarrow \theta = 120°$

Jadi, sudut apit kedua vektor tersebut adalah 120°.

9. Diketahui 2 buah vektor yang besar keduanya sama, yakni F. Jika perbandingan antara besar jumlah dan besar selisih kedua vektor sama dengan $\sqrt{3}$, sudut yang dibentuk kedua vektor adalah ....

A. 30°
B. 37°
C. 45°
D. 60°
E. 120°

Jawaban: D

$|F_1 + F_2| : |F_1 - F_2| = \sqrt{3} : 1$

$|F_1 + F_2|^2 = \left(\sqrt{3}|F_1 - F_2|\right)^2$

$F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\theta = 3(F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2\cos\theta)$

karena $F_1 = F_2 = F$, maka:

$F^2 + F^2 + 2F^2\cos\theta = 3(F^2 + F^2 - 2F^2\cos\theta)$

$2F^2(1 + \cos\theta) = 6F^2(1 - \cos\theta)$

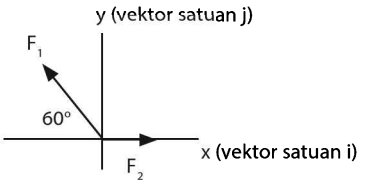
$1 + \cos\theta = 3 - 3\cos\theta$

$4\cos\theta = 2$

$$\cos\theta = \frac{2}{4} = \frac{1}{2} \Leftrightarrow \theta = \arccos\left(\frac{1}{2}\right)$$

$\theta = 60°$.

Jadi, sudut yang dibentuk kedua vektor tersebut adalah 60°.

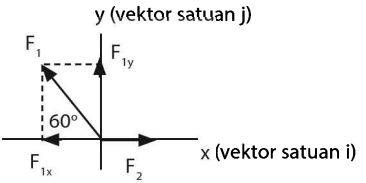


10. Vektor F_1 = 14 N dan F_2 = 10N diletakkan pada diagram Cartesius seperti pada gambar.
Resultan $|R| = F_1 + F_2$ dinyatakan dengan vektor satuan adalah ....
A. $7\,i + 10\sqrt{3}\,j$
B. $7\,i + 10\,j$
C. $3\,i + 7\sqrt{3}\,j$
D. $3\,i + 10\,j$
E. $3\,i + 7\,j$

Jawaban: B

Resultan vektor pada arah sumbu-x adalah:

$\sum F_x = (F_{2x} - F_{1x})i$
$= 10N\,i - 14N\cos 60°\,i$
$= 10N\,i - 14N\,(½)i$
$= 3N\,i$



Resultan vektor pada arah sumbu-y adalah:

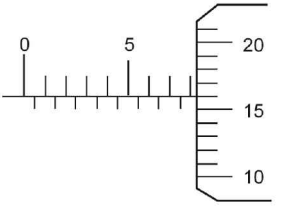
$\sum F_y = F_{1y}\,j$
$= 14 \sin 60°\,j$
$= 14\,(\frac{1}{2}\sqrt{3})\,j$
$= 7\sqrt{3}\,j$

Resultan vektor tersebut adalah:

$|R| = F_1 + F_2$
$= \sum F_x + \sum F_y$
$= 3\,i + 7\sqrt{3}\,j$

LATIHAN SOAL 1

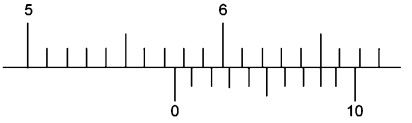
1. Kedudukan skala sebuah mikrometer sekrup yang digunakan untuk mengukur diameter sebuah bola kecil seperti gambar berikut.



Berdasarkan gambar di atas, dapat dilaporkan diameter bola kecil adalah . . . .

A. 11,15 mm
B. 9,17 mm
C. 8,16 mm
D. 5,75 mm
E. 5,46 mm

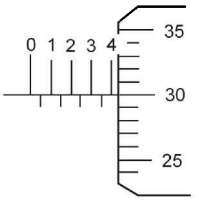
2. Hasil pengukuran dengan jangka sorong ditunjukkan sebagai berikut.



Hasil pengukurannya adalah . . . .

A. 5,18 cm
B. 5,28 cm
C. 5,38 cm
D. 5,78 cm
E. 6,88 cm

3. Gambar di bawah ini menunjukkan hasil pengukuran tebal kertas karton dengan menggunakan mikrometer sekrup.



Hasil pengukurannya adalah . . ..

A. 4,30 mm
B. 4,25 mm
C. 4,18 mm
D. 4,18 mm
E. 4,15 mm

4. Perhatikan pernyataan-pernyataan berikut.
   (1) Semua angka bukan nol adalah angka penting
   (2) Semua angka nol yang terletak pada deretan akhir dari angka yang ditulis di belakang koma desimal bukan tergolong angka penting.
   (3) Angka nol yang terletak di antara dua angka bukan nol termasuk angka penting.
   (4) Angka nol yang digunakan hanya untuk tempat titik desimal adalah angka penting

   Pernyataan yang *benar* adalah . . .

A. (1), (2), dan (3)
B. (1) dan (3)
C. (2) dan (4)
D. (4) saja
E. Semua benar

5. Pada pengukuran panjang benda, diperoleh hasil pengukuran 0,08070 m. Banyaknya angka penting hasil pengukuran adalah . . .

A. dua
B. tiga
C. empat
D. lima
E. enam

6. Hasil penjumlahan angka penting 26,275 kg dengan 23,4 kg adalah . . ..

A. 49,675 kg
B. 49,68 kg
C. 49,67 kg
D. 49,7 kg
E. 49,6 kg

7. Nadya memiliki empat buah kelereng. Massa masing-masing kelereng adalah 12,5 g, 12,4 g, 12,4 g, dan 12,6 g. Massa rata-rata kelereng Nadya bila dinyatakan dalam penulisan angka penting adalah . . . .
   A. 12,475 g
   B. 12,47 g
   C. 12,48 g
   D. 12,5 g
   E. 13,0 g

8. Hasil pengukuran luas pelat tipis (panjang 1,25 cm; lebar 0,15 cm) menurut aturan angka penting adalah . . ..
   A. 0,1875 cm^2
   B. 0,187 cm^2
   C. 0,188 cm^2
   D. 0,19 cm^2
   E. 0,20 cm^2

9. Massa sebuah benda adalah 64.000 g. Bilangan tersebut dapat dinyatakan dalam tiga angka penting yaitu . . .
   A. 640×10^2 g
   B. 64×10^3 g
   C. $6{,}4 \times 10^4$ g
   D. $0{,}64 \times 10^5$ g
   E. $0{,}064 \times 10^6$ g

10. Di antara kelompok besaran di bawah ini yang hanya terdiri atas besaran turunan saja adalah . . . .
    A. Kuat arus, massa, gaya
    B. Suhu, massa, kecepatan
    C. Waktu, momentum, kecepatan
    D. Usaha, mementum, percepatan
    E. Kecepatan, suhu, jumlah zat

11. Satuan dari besaran percepatan, suhu, dan daya menurut Sistem Internasional (SI) adalah . . .
    A. m/s^2, celsius, J/s
    B. m/s^2, kelvin, watt
    C. m/s^2, fahrenheit, watt
    D. m/s^2, kelvin, J·s
    E. m/s, kelvin, J/s

12. Satuan energi potensial dalam Sistem Internasional (SI) adalah . . .
    A. $kg \cdot m^3 \cdot s^{-1}$
    B. $kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$
    C. $kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$
    D. $kg \cdot m \cdot s^{-1}$
    E. $kg \cdot m^2 \cdot s^{-1}$

13. Dimensi energi potensial adalah . . .
    A. $[M]\,[L]\,[T]^{-1}$
    B. $[M]\,[L]\,[T]^{-2}$
    C. $[M]\,[L]^{-1}\,[T]^{-2}$
    D. $[M]\,[L]^{2}\,[T]^{-2}$
    E. $[M]\,[L]^{-2}\,[T]^{-2}$

14. Momentum mempunyai dimensi yang sama dengan dimensi besaran . . .
    A. impuls
    B. energi
    C. gaya
    D. tekanan
    E. percepatan

15. Besaran yang mempunyau dimensi $[M][L]^3$ adalah . . .
    A. kecepatan
    B. massa jenis
    C. percepatan
    D. berat jenis
    E. gaya

16. Tekanan merupakan gaya per satuan luas. Dimensi dari tekanan adalah . . .
    A. $[M]\,[L]\,[T]^{-2}$
    B. $[M]\,[L]^{-1}\,[T]^{2}$
    C. $[M]\,[L]^{-1}\,[T]^{-2}$
    D. $[M]\,[L]^{-2}\,[T]^{-1}$
    E. $[M]\,[L]^{2}\,[T]^{-1}$

17. Besaran yang dimensinya $[M]\,[L]^{-1}\,[T]^{-2}$ adalah . . .
    A. gaya
    B. tekanan
    C. energi
    D. momentum
    E. percepatan

18. Perhatikan tabel berikut ini!

No.	Besaran	Satuan	Dimensi
1.	Momentum	$kg \cdot m \cdot s^{-1}$	$[M][L][T]^{-1}$
2.	Gaya	$kg \cdot m \cdot s^{-2}$	$[M][L][T]^{-2}$
3.	Daya	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$	$[M][L]^2[T]^{-3}$

Dari tabel di atas yang mempunyai satuan dan dimensi yang benar adalah . . .

A. 1 saja
B. 1 dan 2
C. 1, 2, dan 3
D. 1 dan 3
E. 2 dan 3

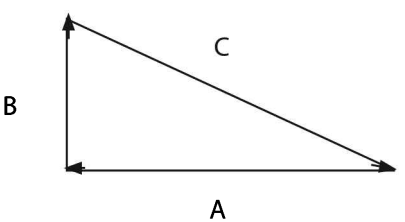
19. Berikut ini ada empat besaran, yaitu:
(1) energi
(2) kelajuan
(3) daya
(4) percepatan
Yang *bukan* merupakan besaran skalar adalah . . .

A. (1), (2), dan (3)
B. (1) dan (3)
C. (2) dan (4)
D. (4) saja
E. (1), (2), (3), dan (4)

20. Seorang anak berjalan lurus 2 meter ke barat, kemudian belok ke selatan sejauh 6 meter, dan belok lagi ke timur sejauh 10 meter. Perpindahan yang dilakukan anak tersebut dari posisi awal adalah...

A. 18 meter arah barat daya
B. 14 meter arah selatan
C. 10 meter arah tenggara
D. 6 meter arah timur
E. 2 meter arah tenggara

21. Tiga buah vektor digambarkan sebagai berikut.



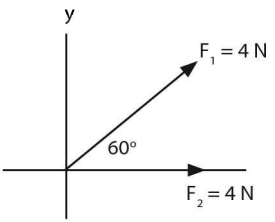
Dari gambar tersebut, pernyataan yang benar adalah . . .

A. $A + B = C$
B. $A + C = B$
C. $B + C = A$
D. $A + B + C = 0$
E. $A + B - C = 0$

22. Vektor **A** dan **B** ada pada satu bidang mendatar, satu sama lain tegak lurus. Diukur dari titik pangkalnya, panjang A = 5 cm, panjang B = 10 cm. Bila **A** berarah ke Barat, **B** berarah ke Utara, maka hasil **A** × **B** adalah . . .
    A. Sebuah vektor yang arahnya ke atas dengan panjang 50 cm
    B. Sebuah vektor yang arahnya ke bawah dengan panjang 50 cm
    C. Sebuah vektor yang arahnya ke barat laut dengan panjang 5 $\sqrt{5}$ cm
    D. Skalar yang besarnya 50 cm
    E. Skalar yang besarnya nol

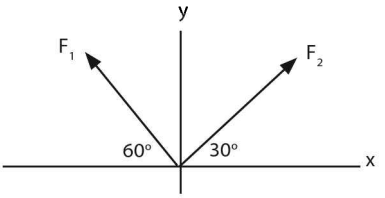
23. Vektor gaya F mempunyai titik asal (6, –4) dan titik ujung (8, 2). Bila ditulis dalam vektor satuan maka F adalah . . .
    A. F = 2i – 2j
    B. F = 2i + 6j
    C. F = 2i – 6j
    D. F = 14i + 2j
    E. F = 14i – 6j

24. Perhatikan gambar berikut.



Besar resultan gaya F_1 dan F_2 pada gambar tersebut adalah . . .
    A. 4 N
    B. $4\sqrt{2}$ N
    C. $4\sqrt{3}$ N
    D. $10(1 + \sqrt{3})$ N
    E. 0

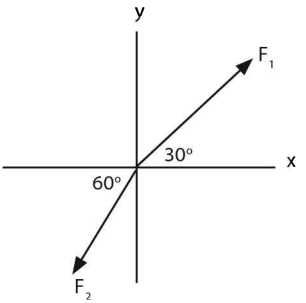
25. Perhatikan gambar berikut.



Jika $F_1 = 8$ N dan $F_2 = 10$ N, maka besar komponen gaya total searah sumbu-X adalah . . .

A. $(4 + 5\sqrt{2})$ N
B. $(4 + 5\sqrt{3})$ N
C. $(5 - 4\sqrt{2})$ N
D. $(5 - 4\sqrt{3})$ N
E. $(-5\sqrt{3} + 4)$ N

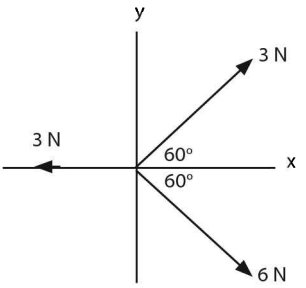
26. Perhatikan gambar berikut.



Jika $F_1 = F_2 = 40$ N, besar komponen gaya total yang searah sumbu-Y adalah . . ..

A. $20(1 + \sqrt{3})$ N
B. $20(1 - \sqrt{3})$ N
C. $10(1 - \sqrt{3})$ N
D. $10(1 + \sqrt{3})$ N
E. 0

27. Perhatikan gambar gaya-gaya berikut ini



Resultan ketiga gaya tersebut adalah . . .

A. 0 N
B. 2 N
C. $2\sqrt{3}$ N
D. 3 N
E. $3\sqrt{3}$ N

28. Dua buah vektor gaya F = 20 $\sqrt{3}$ N bersudut 0° terhadap sumbu X. Besar komponen vektor pada sumbu Y adalah . . .
    A. 10 $\sqrt{3}$ N
    B. 20 N
    C. 10 $\sqrt{6}$ N
    D. 30 N
    E. 60 N

29. Dua buah vektor yang masing – masing besarnya 10 satuan dengan titik tangkap sama. Jika resultan kedua vektor juga 10 satuan, maka . . .
    A. kedua vektor membentuk sudut 30°
    B. kedua vektor membentuk sudut 60°
    C. kedua vektor membentuk sudut 90°
    D. kedua vektor membentuk sudut 120°
    E. kedua vektor membentuk sudut 150°

30. Dua buah gaya (setitik tangkap) saling tegak lurus di mana besarnya masing-masing 12 N dan 5 N. Besar resultan kedua gaya tersebut adalah . . ..
    A. 17 N
    B. 15 N
    C. 13 N
    D. 9 N
    E. 7 N

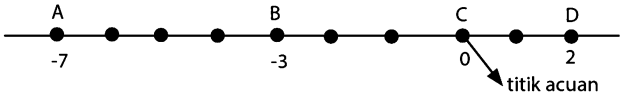
Fisika (bahasa Yunani: fysikós, "alamiah" atau fýsis, "alam") adalah ilmu tentang alam dalam makna yang terluas.

KINEMATIKA 2

A. KEDUDUKAN, JARAK, DAN PERPINDAHAN

a. Kedudukan (Posisi)

Kedudukan, yaitu letak (posisi) suatu benda pada waktu tertentu terhadap acuan.



- Posisi A berjarak 7 satuan sebelah kiri C (dinyatakan $x_A = -7$).
- Posisi B berjarak 3 satuan sebelah kiri C (dinyatakan $x_B = -3$).
- Posisi D berjarak 2 satuan sebelah kanan C (dinyatakan $x_D = 2$).

Posisi merupakan merupakan vektor, misal sebuah partikel berada pada koordinat kartesian P(x, y, z). Vektor posisi partikel tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\vec{r}_P = x\check{i} + y\check{j} + z\check{k}$$

dengan $\hat{i}, \hat{j}$, dan $\hat{k}$ merupakan vektor satuan searah sumbu, x, y, dan z.

b. Perpindaban dan Jarak

Perpindahan, yaitu perubahan kedudukan/posisi suatu benda dalam selang waktu tertentu.

Perpindahan merupakan besaran vektor dan besarnya hanya bergantung pada kedudukan awal dan kedudukan akhir. Perpindahan tidak bergantung pada lintasan yang ditempuh benda. Sedangkan jarak merupakan besaran skalar sehingga nilainya bergantung pada lintasan yang ditempuh benda.

Misal sebuah partikel bergerak dari posisi titik A(2, 3, 4) menuju posisi titik B(6, 3, 7).

- Vektor posisi A dinyatakan : $\vec{r_A} = 2\check{i} + 3\check{j} + 4\check{k}$
- Vektor posisi B dinyatakan : $\vec{r_B} = 6\check{i} + 3\check{j} + 7\check{k}$

Vektor perpindahan partikel tersebut adalah:

$$\Delta\vec{r} = \vec{r_B} - \vec{r_A}$$
$$\Delta\vec{r} = (x_2 - x_1)\check{i} + (y_2 - y_1)\check{j} + (z_2 - z_1)\check{k}$$
$$\Delta\vec{r} = (6-2)\check{i} + (3-3)\check{j} + (7-4)\check{k}$$
$$\Delta\vec{r} = 4\check{i} + 3\check{k}$$

Jarak perpindahan partikel tersebut adalah:

$$r = \sqrt{(4)^2 + (3)^2}$$
$$= 5$$

B. KELAJUAN DAN KECEPATAN

a. Kelajuan Rata-rata

Kelajuan rata-rata didefinisikan sebagai jarak total yang ditempuh sepanjang lintasannya dibagi waktu yang diperlukan untuk menempuh jarak tersebut.

$$\bar{v} = \frac{s}{t}$$

dengan,
$\bar{v}$ = kelajuan rata-rata (m/s)
s = jarak total yang ditempuh (m)
t = waktu tempuh yang diperlukan (t)

b. Kecepatan Rata-rata

Kecepatan rata-rata adalah besarnya perpindahan sebuah benda dalam selang waktu tertentu.

$$\bar{v} = \frac{r_2 - r_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta r}{\Delta t}$$

Dan untuk gerak satu dimensi dinyatakan:

$$\bar{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

c. Kecepatan Sesaat

Kecepatan sesaat adalah laju perubahan posisi sesaat terhadap waktu atau limit dari kecepatan rata-rata untuk selang waktu Δt mendekati nol. Kecepatan sesaat dinyatakan:

$$v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{dr}{dt}$$

Dan untuk gerak satu dimensi dinyatakan sebagai:

$$v = \frac{dx}{dt}$$

dengan, $\frac{dx}{dt}$ adalah turunan pertama x(t) terhadap waktu (t).

C. GERAK LURUS BERATURAN (GLB)

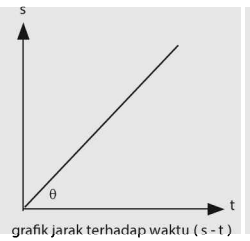
Gerak lurus beraturan (GLB) adalah gerak suatu benda dengan lintasan lurus dan memiliki kecepatan tetap (arah dan besarnya tetap) serta percepatannya nol (a = 0). Dengan demikian maka:

- kecepatan dapat diganti dengan kelajuan
- perpindahan dapat diganti dengan jarak

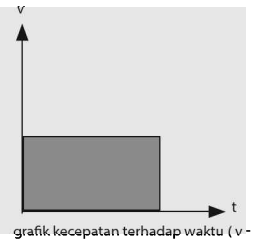
Persamaan yang berlaku pada GLB adalah:

$$s = v \times t \text{ atau } v = \frac{s}{t}$$

Karena v konstan, maka grafik pada gerak lurus beraturan adalah :



grafik jarak terhadap waktu (s - t)



grafik kecepatan terhadap waktu (v - t)

Dari grafik di samping diperoleh:

$$v = \tan \theta = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

s = luas daerah diarsir.

D. PERCEPATAN

a. Percepatan Rata-rata

Percepatan rata-rata didefinisikan sebagai hasil bagi antara perubahan kecepatan (Δv) dengan selang waktu (Δt) berlangsungnya perubahan kecepatan tersebut.

$$\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

dengan,

$\bar{a}$ = percepatan rata-rata (m/s^2)

b. Percepatan Sesaat

Percepatan sesaat adalah laju perubahan kecepatan sesaat terhadap waktu atau limit dari percepatan rata-rata untuk selang waktu Δt mendekati nol.

$$a = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{d}{dt} v(t)$$

Catatan:

Alat ukur yang dapat menentukan kecepatan sesaat dan percepatan sesaat adalah ticker timer. Hasil ketikan berupa titik-titik yang dilakukan *ticker timer* dapat menentukan gerakan yang dilakukan oleh sebuah benda. Semakin besar jarak antartitik, semakin besar percepatan yang dilakukan oleh sebuah benda. Semakin pendek jarak antartitik, semakin besar perlambatan yang dilakukan oleh sebuah benda hingga benda tersebut berhenti. Jika jarak antartitik tetap, berarti benda tidak melakukan percepatan maupun perlambatan, melainkan memiliki kecepatan yang konstan.

E. GERAK LURUS BERUBAH BERATURAN (GLBB)

GLBB adalah gerak suatu benda pada lintasan garis lurus yang percepatannya tetap. Percepatan tetap menunjukkan bahwa besar dan arahnya sama. Dalam hal ini, percepatan sesaat dan percepatan rata-rata adalah sama.

Benda yang bergerak berubah beraturan dapat berupa bertambah beraturan (dipercepat) atau berkurang beraturan (diperlambat).

- Jika arah percepatan searah dengan arah gerak awal suatu benda, maka tandanya positif dan gerak benda mengalami gerak lurus dipercepat.
- Jika arah percepatan berlawanan dengan arah gerak awal suatu benda, maka tandanya negatif dan gerak benda mengalami gerak lurus diperlambat.

Persamaan gerak umum pada GLBB

- $v_x = v_0 \pm a_x t$
- $x = x_0 + v_0 t \pm \frac{1}{2} a_x t^2$
- $v_x^2 = v_0^2 \pm 2a_x (x - x_0)$
- $\bar{v} = \frac{v_0 + v_x}{2}$

dengan,

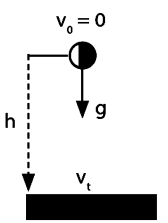
x_0 = posisi awal (m)
x = posisi akhir (m)
v_0 = kecepatan awal saat t = 0 (m/s)
v_x = kecepatan akhir dalam selang waktu t (m/s)
a_x = percepatan (m/s^2), dengan aturan:

- bertanda + untuk gerak lurus berubah beraturan dipercepat
- bertanda – untuk gerak lurus berubah beraturan diperlambat.

a. Gerak Jatuh Bebas

Ciri-cirinya:

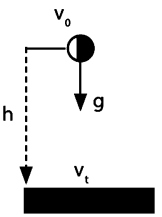
- Percepatannya tetap (a = g) dan kecepatan awal benda bernilai nol ($v_0 = 0$).
- Benda selalu bergerak ke bawah → arah ke bawah positif.
- Persamaan gerak jatuh bebas:
  - $v_t = gt$
  - $h = \frac{1}{2} gt^2 \Leftrightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$
  - $v_t^2 = 2gh \Leftrightarrow v_t = \sqrt{2gh}$



b. Gerak Vertikal ke Bawab

Ciri-cirinya:

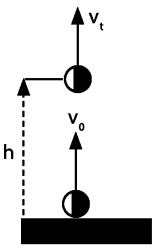
- Percepatannya tetap (a = g) dan kecepatan awal benda tidak sama dengan nol ($v_0 \neq 0$).
- Benda selalu bergerak ke bawah $\rightarrow$ arah ke bawah positif.
- Persamaan gerak vertikal ke bawah:
  - $v_t = v_0 + gt$
  - $h = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$
  - $v_t^2 = v_0^2 + 2gh$



c. Gerak Vertikal ke Atas

Ciri-cirinya:

- Percepatannya melawan gravitasi (a = –g)
- Memiliki kecepatan awal ($v_0 \neq 0$).
- Arah vertikal ke atas ditetapkan sebagai arah positif.
- Dalam setiap kedudukan atau posisi, benda mengalami percepatan tetap (a = – g).
- Persamaan gerak vertikal ke atas:
  - $v_t = v_0 - gt$
  - $h = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$
  - $v_t^2 = v_0^2 - 2gh$

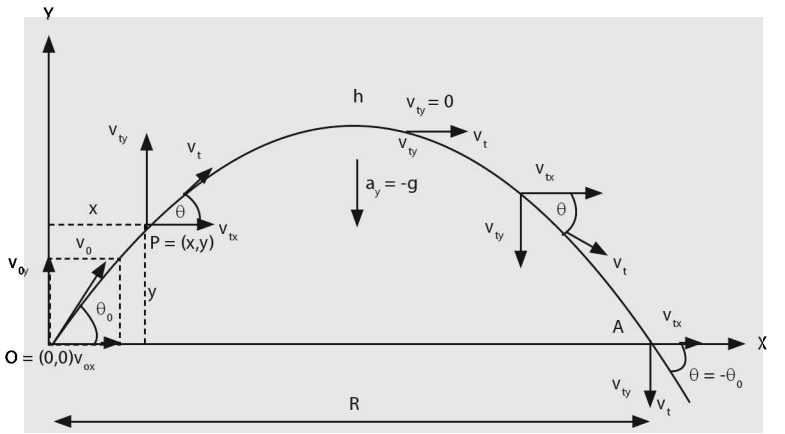


Karena benda bergerak ke atas, maka semakin lama kecepatannya semakin berkurang sehingga pada titik tertinggi kecepatannya nol ($v_t = 0$). Saat itu benda akan berhenti sesaat kemudian kembali ke bawah. Persamaan yang berlaku pada keadaan tersebut adalah:

- $h_{maks} = \frac{v_0^2}{2g}$
- $t_{maks} = \frac{v_0}{g}$
- $t_{udara} = 2 \times t_{maks}$

F. GERAK PARABOLA

Jika suatu gerak lurus beraturan berpadu dengan gerak lurus berubah beraturan yang kedudukannya saling tegak lurus, maka akan di dapat lintasan yang berbentuk parabola, seperti ditunjukkan gambar berikut.



- **Komponen gerak pada sumbu-x → gerak lurus beraturan (GLB).**
  - → Kecepatan awal, $v_{0x} = v_0 \cos \theta_0$
  - → Kecepatan horizontal konstan dalam selang waktu, $v_x = v_{0x} = v_0 \cos \theta_0$
  - → Jarak horizontal yang ditempuh peluru pada waktu t adalah $x = v_0 \cos \theta_0 \cdot t$
  - → Jarak mendatar maksimum (jangkauan terjauh) peluru adalah $x_m = (v_0^2 \sin 2\theta_0) / g$.
- **Komponen gerak pada sumbu-y → gerak lurus berubah beraturan (GLBB).**
  - → Kecepatan awal, $v_{0y} = v_0 \sin \theta_0$
  - → Kecepatan vertikal pada waktu t, $v_y = v_{0y} - gt = v_0 \sin \theta_0 - gt$.
  - → Ketinggian peluru pada waktu t, $y = v_0 \sin \theta_0 \cdot t - \frac{1}{2} gt^2$.

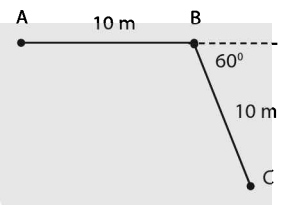
→ Ketinggian maksimum peluru ($v_y = 0$) dinyatakan: $y_m = (v_0^2 \sin^2 \theta_0) / 2g$.

- Besar kecepatan gerak peluru, adalah: $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$
- Arah kecepatan gerak peluru dapat ditentukan dengan persamaan $\tan \theta = \frac{v_y}{v_x}$.

CONTOH SOAL & PEMBAHASAN

1. Sebuah benda berpindah dari posisi A ke posisi C melalui lintasan A – B – C. Panjang perpindahan yang dilakukan benda tersebut adalah . . . .

   A. 10 m
   B. $10\sqrt{2}$ m
   C. $10\sqrt{3}$ m
   D. $20\sqrt{2}$ m
   E. $20\sqrt{3}$ m



Jawaban: C

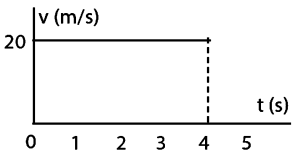
- besar vektor AB = 10 m
- besar vektor BC = 10 m
- sudut apit antarkedua vektor, $\theta = 60°$

Panjang perpindahan yang dilakukan benda tersebut adalah:

$$AC = \sqrt{(AB)^2 + (BC)^2 + 2(AB)(BC)\cos\theta}$$
$$= \sqrt{(10\text{m})^2 + (10\text{m})^2 + 2(10\text{m})(10\text{m})\cos 60^0}$$
$$= \sqrt{100 + 100 + 100}\ \text{m}$$
$$= 10\sqrt{3}\ \text{m}.$$

2. Grafik suatu benda bergerak lurus beraturan tampak seperti gambar berikut ini. Jarak yang ditempuh selama 4 sekon adalah . . .

A. 20 m
B. 40 m
C. 60 m
D. 80 m
E. 100 m



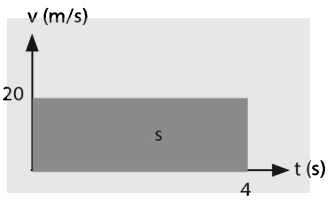
Jawaban: D

- benda mengalami GLB dengan kecepatan, v = 20 m/s
- selang waktu, t = 4 sekon

Jarak yang ditempuh benda dalam waktu tersebut adalah:

s = v × t
= (20 m/s) (4 s)
= 80 m.

Cara lain: metode grafik.



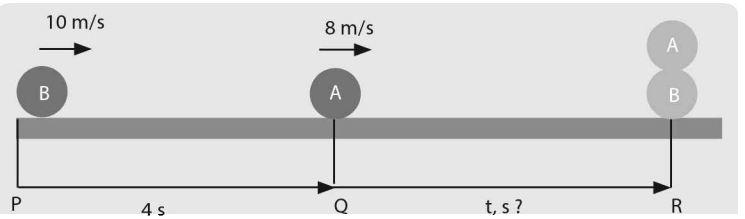
Jarak yang ditempuh benda dalam waktu tersebut adalah:
s= luasan daerah di bawah grafik v-t
= luas persegi panjang
= p × l
= 20 × 4
= 80 m.

3. Dua buah A dan B bergerak dari titik dan arah yang sama. Benda A bergerak terlebih dahulu dengan kecepatan 8 m/s. Setelah 4 sekon, benda B menyusul dengan kecepatan 10 m/s. Benda B akan tepat menyusul A setelah menempuh jarak . . .

A. 80 m
B. 100 m
C. 120 m
D. 160 m
E. 200 m

Jawaban: D

Sketsa gerak kedua benda adalah sebagai berikut.



Benda B tepat menyusul A di titik R, maka berlaku:

$s_R = v_A t_A + v_A t$ ...(i)

$s_R = v_A t$ ...(ii)

Dari persamaan (i) dan (ii), diperoleh:

$v_B t = v_A t_A + v_A t$

$v_B t - v_A t = v_B t = v_A t$

$$t = \frac{(v_A)}{(v_B - v_A)} \times t_A$$

dengan, t = waktu tempuh yang diperlukan benda B untuk menyusul benda A.

$$t = \frac{(v_A)}{(v_B - v_A)} \times t_A$$

$$= \frac{8}{(10-8)} \times 4$$

$= 16$ s.

Benda B akan menyusul benda A setelah menempuh jarak:

$s_R = v_B t$

$= (10 \text{ m/s}) \times (16 \text{ s})$

$= 160$ m

Tips!!

Jarak tempuh benda B akan tepat menyusul benda A, dapat dicari dengan rumus:

$$\frac{(v_B)}{(v_B - v_A)} \times v_A t_A = \frac{10}{(10-8)} \times (8)(4)$$
$$= 5 \times 32 \text{ m}$$
$$= 160 \text{ m}$$

4. Suatu benda bergerak dengan persamaan gerak dinyatakan: $s(t) = t^3 - 6t^2 + 15t + 4$, satuan s dalam meter dan t dalam sekon. Apabila pada saat percepatan nol, maka kecepatan benda tersebut adalah . . .

A. 1 m/s
B. 2 m/s
C. 3 m/s
D. 4 m/s
E. 5 m/s

Jawaban: C

Persamaan gerak: $s(t) = t^3 - 6t^2 + 15t + 4$, maka:

$$v(t) = \frac{d}{dt} s(t)$$
$$= \frac{d}{dt}\left(t^3 - 6t^2 + 15t + 4\right)$$

$3t^2 - 12t + 15 \rightarrow$ persamaan/fungsi kecepatan terhadap waktu

$$a(t) = \frac{d}{dt} v(t)$$
$$= \frac{d}{dt}\left(3t^2 - 12t + 15\right)$$

$= 6t - 12 \rightarrow$ persamaan/fungsi percepatan terhadap waktu.

Percepatannya bernilai nol, bila a(t) = 0, sehingga:
$6t - 12 = 0$
$6t = 12$
$t = 2$ s.

Kecepatan benda pada t = 2 s adalah:

$v(2) = 3(2)^2 - 12(2) + 15$

$= (12 - 24 + 15)$ m/s

$= 3$ m/s.

5. Sebuah benda yang semula berada di titik acuan bergerak dengan kecepatan $v = \left(2\check{i} - 1{,}5\check{j}\right)$ m/s.
Setelah bergerak selama 4 sekon, benda berpindah sejauh . . .

A. 2 m
B. 10 m
C. 12 m
D. 14 m
E. 25 m

Jawaban: B

- benda bergerak dengan kecepatan, $v = \left(2\check{i} - 1{,}5\check{j}\right)$ m/s.
- selang waktu, t = 4 s

Perpindahan benda tersebut adalah:

$$\vec{s} = \vec{v} \cdot t$$
$$= \left[\left(2\check{i} - 1{,}5\check{j}\right) m/s\right](4s)$$
$$= \left(8\hat{i} - 6\check{j}\right) m$$

Besar perpindahan benda selama selang waktu tersebut adalah:

$$s = \sqrt{(s_x)^2 + (s_y)^2}$$
$$= \sqrt{(8m)^2 + (-6m)^2}$$
$$= \sqrt{64 + 36}\ m$$
$$= 10\ m$$

6. Sebuah mobil mula-mula diam kemudian mobil itu dihidupkan dan mobil bergerak dengan percepatan tetap 2 m/s^2. Setelah mobil bergerak 10 s mesinnya dimatikan mobil mengalami perlambatan berhenti 10 s kemudian. Jarak yang masih ditempuh mobil dari mesin dimatikan sampai berhenti adalah . . .

A. 210 m
B. 200 m
C. 195 m
D. 100 m
E. 20 m

Jawaban: D

- kecepatan awal mobil, $v_{01} = 0$
- percepatan mobil, $a_1 = 2\ m/s^2$

Setelah mobil bergerak 10 s, mesin mobil dimatikan, maka kecepatan mobil saat itu:

$v_{t1} = v_{01} + a_1 t_1$
$= 0 + (2\ m/s^2)\ (10\ s)$
$= 20\ m/s^2.$

Mobil mengalami perlambatan dan berhenti 10 s kemudian ($v_{t2} = 0$), yaitu:

$$a_2 = \frac{v_{t2} - v_{02}}{t_2}$$

$$= \frac{v_{t2} - v_{t1}}{t_2}$$

$$= \frac{(0 - 20)\,m/s}{10\,s}$$

$= -2\ m/s^2 \rightarrow$ tanda – berarti benda mengalami perlambatan.

Jarak yang masih ditempuh mobil dari mesin dimatikan adalah:

$$s = v_{02} t_2 + \frac{1}{2} a_2 t_2^{\,2}$$

$$= (20\,m/s)(10\,s) + \frac{1}{2}\left(-2\,m/s^2\right)(10\,s)^2$$

$= 200\ m - 100\ m$
$= 100\ m$

7. Sebuah benda jatuh bebas dari ketinggian 45 m, waktu yang dibutuhkan saat menyentuh tanah adalah . . .

A. 2 s
B. 3 s
C. 5 s
D. 7 s
E. 9 s

Jawaban: B

Gerak jatuh bebas
- kecepatan awal, $v_0 = 0$
- posisi awal dari permukaan tanah/ketinggian, h = 45 m.
- percepatan gravitasi, g = 10 m/s^2

Waktu yang dibutuhkan benda untuk menyentuh tanah adalah:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$
$$= \sqrt{\frac{2(45\text{m})}{(10\text{m}/\text{s}^2)}}$$
$$= 3\ \text{s}.$$

8. Bola tenis jatuh dari ketinggian 5 m. Jika percepatan gravitasi di tempat itu 10 m/s^2, maka kecepatan benda saat menyentuh tanah adalah . . .

A. 5 m/s
B. 10 m/s
C. 20 m/s
D. 50 m/s
E. 100 m/s

Jawaban: B

Gerak jatuh bebas:
- kecepatan awal, $v_0 = 0$
- posisi awal dari permukaan tanah/ketinggian, h = 5 m.
- percepatan gravitasi, g = 10 m/s^2

Kecepatan benda saat menyentuh tanah adalah:

$$v_t = \sqrt{2gh}$$
$$= \sqrt{2\left(10\text{m}/\text{s}^2\right)(5\text{m})}$$
$$= 10\ \text{m}/\text{s}.$$

9. Sebuah benda dilemparkan ke bawah dengan kecepatan awal v_0. Jarak dari posisi lempar supaya kecepatan benda menjadi 2 kali kecepatan semula adalah . . .

A. $\frac{v_0^2}{g}$
B. $\frac{2v_0^2}{g}$
C. $\frac{v_0^2}{2g}$
D. $\frac{3v_0^2}{2g}$
E. $\frac{2v_0^2}{3g}$

Jawaban: D

Gerak vertikal ke bawah:
• kecepatan awal = v_0.
• percepatan gravitasi = g
• kecepatan benda saat t, $v_t = 2v_0$
Jarak dari posisi lempar supaya kecepatan benda menjadi 2 kali kecepatan semula adalah:

$$h = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2g}$$
$$= \frac{(2v_0)^2 - v_0^2}{2g}$$
$$= \frac{4v_o^2 - v_0^2}{2g}$$
$$= \frac{3v_0^2}{2g}$$

10. Pada waktu bersamaan dua buah bola dilempar ke atas masing-masing dengan kelajuan v_1 = 10 m/s (bola I) dan v_2 = 20 m/s (bola II). Jarak antara kedua bola pada saat bola I mencapai titik tertinggi adalah . . .

A. 30 m
B. 25 m
C. 20 m
D. 15 m
E. 10 m

Jawaban: E

Gerak vertikal ke atas:

- kelajuan awal bola I, $v_{01} = 10$ m/s
- kelajuan awal bola II, $v_{02} = 20$ m/s
- percepatan gravitasi, $g = 10\ m/s^2$

Bola I mencapai titik tertinggi ($v_{t1} = 0$) , maka berlaku:

$$v_{01} - gt_1 = v_{t1}$$

$$v_{01} - gt_1 = 0$$

$$t_1 = \frac{v_{01}}{g}$$

$$t_1 = \frac{10\ m/s}{10\ m/s^2}$$

$$t_1 = 1\ s$$

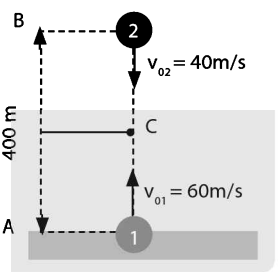
$$h_1 - h_2 = v_{02}t - \frac{1}{2}gt^2 - \left(v_{01}t - \frac{1}{2}gt^2\right)$$

$$= (v_{02} - v_{01})t$$

$$= (20\ m/s - 10\ m/s)\ (1\ s)$$

$$= 10\ m.$$

11. Terdapat dua buah batu yang akan dilempar. Batu pertama dilemparkan ke atas dari permukaan tanah dengan kecepatan awal 60 m/s. Batu kedua dilemparkan ke bawah dari sebuah gedung dengan kecepatan awal 40 m/s. Jika jarak kedua batu 400 m, kedua batu tersebut akan bertemu setelah bergerak selama . . .



A. 2 s
B. 3 s
C. 4 s
D. 6 s
E. 10 s

Jawaban: C

Sketsa kasus kombinasi gerak vertikal ke bawah dan gerak vertikal ke atas:
Misal titik C adalah titik bertemunya kedua batu tersebut, maka berlaku:

$$AC = v_{01}t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$BC = v_{02}t + \frac{1}{2}gt^2$$

$$AB - BC = v_{02}t + \frac{1}{2}gt^2$$

Subsitusi persamaan (i) ke persamaan (ii), diperoleh :

$AB = (v_{02} + v_{01})t \Leftrightarrow \Delta h\ (v_{02} + v_{01})t$ ...(iii)

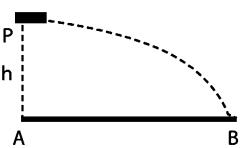
Jadi, kedua batu akan bertemu setelah bergerak selama:

$$t = \frac{\Delta h}{v_{01} + v_{02}}$$

$$= \frac{400\,m}{(60\,m/s) + (40\,m/s)}$$

$$= 4\ s.$$

12. Sebuah pesawat terbang bergerak mendatar dengan kecepatan 200 m/s melepaskan bom dari ketinggian 500 m. Jika bom jatuh di B dan g = 10 m/s², maka jarak AB adalah . . .



A. 500 m
B. 1.000 m
C. 1.500 m
D. 1.750 m
E. 2.000 m

Jawaban: E

- kecepatan pesawat dalam arah mendatar, v_x = 200 m/s
- ketinggian pesawat terhadap tanah, h = 500 m
- percepatan gravitasi, g = 10 m/s²

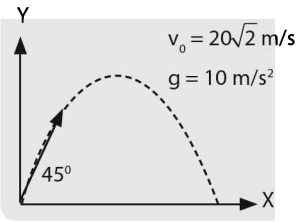
Bom dilepaskan dari pesawat, karena kecepatan pesawat dalam arah vertikal nol ($v_y = 0$), maka bom dalam arah vertikal mengalami jatuh bebas, maka waktu yang diperlukan untuk sampai di sasaran (titik B) adalah:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$
$$= \sqrt{\frac{2 \times 500\,m}{10\,m/s^2}}$$
$$= 10\ s$$

Jarak mendatar (AB) adalah:

$x = v_x t$
$= (200\ m/s)\ (10\ s)$
$= 2.000\ m$

13. Sebuah benda dilempar miring ke atas sehingga lintasannya parabola, seperti pada gambar di samping.
Pada saat jarak tempuh mendatarnya (x) = 20 m, maka ketinggiannya (y) adalah . . .



A. 5 m
B. 10 m
C. 15 m
D. 20 m
E. 25 m

Jawaban: C

Gerak parabola:
- kecepatan awal benda, $v_0 = 20\sqrt{2}$ m/s
- percepatan gravitasi, $g = 10\ m/s^2$
- sudut elevasi, $\theta_0 = 45°$

Posisi arah vertikal (ketinggian) benda saat jarak tempuh mendatarnya, x = 20 meter adalah:

$$y = (\tan \theta_0)x - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta_0} x^2$$

$$= (\tan 45^0) \times 20\text{m} - \frac{10\text{m/s}^2}{2 \times (20\sqrt{2}\text{m/s})^2 \times (\cos 45^0)^2} \times (20\text{m})^2$$

$$= (1)(20\text{m}) - \frac{(4000\ \text{m}^3/\text{s}^2)}{2(800\text{m}^2/\text{s}^2)(\frac{1}{2})}$$

$$= 15\ \text{m}.$$

14. Peluru ditembakkan condong ke atas dengan kecepatan awal, v = $1{,}4 \times 10^3$ m/s dan mengenai sasaran yang jarak mendatarnya 2×10^5 m. Bila percepatan gravitasi = 9,8 m/s^2, maka sudut elevasinya adalah . . .

A. 10°
B. 30°
C. 45°
D. 60°
E. 175°

Jawaban: C

Gerak parabola:

- kecepatan awal, $v_0 = 1{,}4 \times 10^3$ m/s
- jangkauan peluru, $x_m = 2 \times 10^5$ m

Jika percepatan gravitasi di tempat tersebut 9,8 m/s^2, maka sudut elevasinya dapat dihitung dengan rumus:

$$x_m = \frac{v_0^2 \sin 2\theta_0}{g} \Leftrightarrow \sin 2\theta_0 = \frac{g \cdot x_m}{v_0^2}$$

$$\sin 2\theta_0 = \frac{\left(9{,}8\ \text{m/s}^2\right)\left(2 \times 10^5\ \text{m}\right)}{\left(1{,}4 \times 10^3\ \text{m/s}\right)^2}$$

$$= \frac{1{,}96 \times 10^6}{1{,}96 \times 10^6}$$

$$= 1$$

$$2\theta_0 = 90^0 \Leftrightarrow \theta_0 = 45^0$$

LATIHAN SOAL 2

1. Perhatikan pernyataan berikut.
   (1) Perpindahan merupakan besaran vektor
   (2) Jarak merupakan besaran skalar
   (3) Perpindahan adalah perubahan posisi benda
   (4) Jarak adalah panjang lintasan gerak benda

   Pernyataan di atas yang *benar* adalah . . .
   A. (1), (2), dan (3)
   B. (1) dan (3)
   C. (2) dan (4)
   D. (4) saja
   E. (1), (2), (3), dan (4)

2. Jarak didefinisikan sebagai . . .
   A. Perubahan kedudukan (posisi) suatu benda dalam waktu tertentu
   B. Panjang lintasan yang ditempuh oleh suatu benda dalam waktu tertentu
   C. Jarak antara dua posisi
   D. Hasil kali antara kecepatan dan waktu
   E. Hasil kali antara percepatan dan waktu

3. Bintang melakukan perjalanan napak tilas dengan rute dimulai dari titik A ke arah utara menuju titik B sejauh 600 m; kemudian dari titik B menuju titik C sejauh 400 m arah barat; ke titik D 200 m arah selatan, dan berakhir di titik E 700 m arah timur. Besar perpindahan yang dialami Bintang adalah . . .

A. 100 m
B. 300 m
C. 500 m
D. 1.500 m
E. 1.900 m

4. Nia mengemudi motornya ke arah Barat sejauh 120 km selama 3 jam. Kemudian Nia berbelok ke arah Timur dan menempuh jarak 60 km selama 2 jam. Laju rata-rata yang dialami motor Nia adalah . . .
   A. 12 km/jam
   B. 24 km/jam
   C. 36 km/jam
   D. 48 km/jam
   E. 72 km/jam

5. Seorang pelajar berlari mengitari lapangan berbentuk lingkaran dengan diameter 60 m. Ia berangkat dari titik A dan berhenti di titik A lagi setelah melakukan satu kali putaran selama 3,14 menit. Kecepatan rata-rata yang dialami pelajar tersebut adalah . . .
   A. 0
   B. 0,5 m/s
   C. 1,0 m/s
   D. 2,0 m/s
   E. 5,0 m/s

6. Sebuah motor dalam geraknya mengalami perubahan kecepatan 72 km/jam tiap detiknya. Percepatan yang dialami mobil tersebut adalah . . .
   A. 10 m/s^2
   B. 20 m/s^2
   C. 36 m/s^2
   D. 48 m/s^2
   E. 72 m/s^2

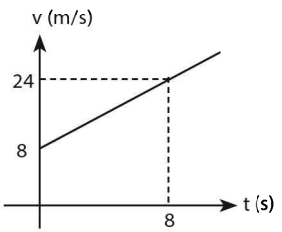
7. Sebuah benda bergerak dengan kecepatan konstan.
   Pernyataan berikut yang mendukung pernyataan di atas adalah . . .
   A. Kecepatan rata-ratanya nol
   B. Benda bergerak melingkar beraturan
   C. Ada gaya bekerja pada benda yang besarnya tetap
   D. Benda mengalami percepatan yang konstan
   E. Beberapa gaya bekerja pada benda tetapi resultannya sama dengan nol

8. Sebuah kereta bergerak dengan kecepatan 36 km/jam. Pada jarak tertentu dari stasiun, kereta tersebut mulai melakukan pengereman secara perlahan dalam selang waktu 10 s sampai kereta berhenti tepat di stasiun. Perlambatan yang dialami kereta adalah . . .
   A. 0,5 m/s^2
   B. 1,0 m/s^2
   C. 2,0 m/s^2
   D. 4,0 m/s^2
   E. 5,0 m/s^2

9. Suatu partikel mengalami perlambatan konstan. Kecepatannya berubah dari 30 m/s menjadi 15 m/s dengan jarak perpindahan sejauh 75 m. Partikel tersebut akhirnya akan berhenti setelah menempuh lagi jarak sejauh . . .
   A. 15 m
   B. 20 m
   C. 25 m
   D. 30 m
   E. 50 m

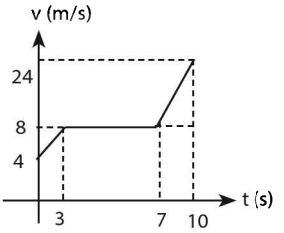
10. Sebuah lokomotif mula-mula diam kemudian bergerak dengan percepatan 2 m/s^2. Waktu yang dibutuhkan ketika lokomotif tersebut menempuh jarak 900 m adalah . . .
   A. 3 s
   B. 6 s
   C. 15 s
   D. 30 s
   E. 90 s

11. Sebuah partikel bergerak lurus sesuai dengan grafik v–t berikut. Jarak yang ditempuh partikel selama 8 s adalah . . .



   A. 8 m
   B. 32 m
   C. 54 m
   D. 120 m
   E. 128 m

12. Grafik v–t berikut menginformasikan gerak sebuah mobil



Jarak yang ditempuh mobil selama bergerak lurus beraturan adalah . . .

A. 24 m
B. 32 m
C. 62 m
D. 72 m
E. 80 m

13. Sebuah bola dilepaskan dan kemudian menggelinding pada bidang miring dengan percepatan konstan. Pada akhir s pertama, bola menempuh jarak 3 m. Berapa jarak yang ditempuh bola pada akhir s keempat?

A. 12 m
B. 16 m
C. 36 m
D. 48 m
E. 64 m

14. Sebuah mobil balap direm dengan perlambatan konstan dari kelajuan 25 m/s menjadi 15 m/s dalam jarak 40 m. Jarak total yang telah ditempuh oleh mobil tersebut sampai akhirnya berhenti adalah . . .

A. 40 m
B. 62,5 m
C. 85 m
D. 107,5 m
E. 130 m

15. Sebuah mobil bergerak lurus dari kecepatan diam dengan percepatan 5 m/s^2. Mobil tersebut kemudian bergerak dengan kecepatan konstan. Beberapa saat kemudian, mobil diperlambat 5 m/s^2 hingga berhenti. Bila kecepatan rata-rata mobil adalah 20 m/s dan waktu total untuk bergerak 25 s, maka mobil tadi bergerak dengan kecepatan tetap selama . . .

A. 20 s
B. 18 s
C. 15 s
D. 10 s
E. 5 s

16. Sebuah pesawat mendarat dengan kecepatan 360 km/jam. Setelah pesawat mendarat, pilot mulai mengerem pesawat itu dengan perlambatan sebesar 8 m/s^2. Jarak tempuh pesawat tersebut pada landasan hingga berhenti adalah ....
A. 300 m
B. 450 m
C. 575 m
D. 625 m
E. 900 m

17. Benda jatuh bebas adalah benda yang memiliki . . .
(1) Kecepatan awal nol
(2) Percepatannya = percepatan gravitasi
(3) Gerak lurus berubah beraturan
(4) Arah percepatannya ke pusat bumi
Pernyataan di atas yang benar adalah . . .
A. (1), (2), dan (3)
B. (1) dan (3)
C. (2) dan (4)
D. (4) saja
E. (1), (2), (3), dan (4)

18. Seorang siswa menyelidiki tinggi sebuah gedung dengan menjatuhkan benda dari lantai atas. Temannya mengukur ternyata benda tersebut sampai di tanah dalam waktu 3 s. Jika percepatan gravitasi = 10 m/s^2, maka tinggi gedung adalah . . .
A. 15 m
B. 20 m
C. 30 m
D. 45
E. 90

19. Benda P jatuh bebas pada ketinggian h di atas tanah dan benda Q jatuh bebas pada ketinggian 4h di atas tanah. Perbandingan kecepatan benda P dan Q saat tiba di tanah adalah . . .
A. 1 : 4
B. 1 : 2
C. 1 : 1
D. 2 ; 1
E. 4 : 1

20. Jika percepatan gravitasi bumi 10 m/s^2 dan suatu benda jatuh bebas pada ketinggian h m, maka akan:
    (1) jatuh dengan laju tetap 10 m/s
    (2) jatuh 5 m setiap detiknya
    (3) memiliki kelajuan 10 m/s setelah 10 s
    (4) percepatannya konstan 10 m/s^2
    Pernyataan di atas yang benar adalah . . .
    A. (1), (2), dan (3)
    B. (1) dan (3)
    C. (2) dan (4)
    D. (4) saja
    E. (1), (2), (3), dan (4)

21. Sebuah batu bermassa 400 gram jatuh bebas dari ketinggian 62,5 m. Jika g = 9,8 m/s^2, maka kecepatan batu sesaat sebelum menumbuk tanah adalah . . .
    A. 14 m/s
    B. 20 m/s
    C. 25 m/s
    D. 35 m/s
    E. 55 m/s

22. Sebuah benda dijatuhkan dari ketinggian h di atas tanah. Setelah sampai di tanah kecepatannya 10 m/s. Jika percepatan gravitasi = 10 m/s^2, maka waktu yang dibutuhkan benda untuk mencapai ketinggian ½ h adalah . . ..
    A. ½ $\sqrt{2}$ s
    B. 1 s
    C. $\sqrt{2}$ s
    D. 5 s
    E. 5 $\sqrt{2}$ s

23. Sebuah bola dilempar vertikal ke atas sehingga tinggi maksimum yang dicapai 45 m. Jika percepatan gravitasi = 10 m/s^2, maka lamanya bola berada di udara adalah . . .
    A. 3 s
    B. 6 s
    C. 9 s
    D. 18 s
    E. 20 s

24. Seorang anak melemparkan batu vertikal ke atas dengan kecepatan awal 40 m/s. Jika percepatan gravitasi = 10 m/s^2, maka enam menit setelah dilempar posisi batu tersebut . . .

A. sedang bergerak naik
B. sedang bergerak turun
C. berhenti sesaat
D. tiba di tanah
E. telah memantul ke atas

25. Bola A dilepaskan dari ketinggian h di atas permukaan tanah. Bersamaan dengan pelepasan bola A, benda B diberi kecepatan vertikal ke atas sebesar v dari permukaan tanah. Percepatan gravitasi g agar A dan B mencapai tanah pada saat yang sama harus memenuhi hubungan . . .

A. $h = \frac{4v^2}{g}$
B. $h = \frac{2v^2}{g}$
C. $h = \frac{v^2}{2g}$
D. $h = \frac{2v^2}{3g}$
E. $h = \frac{v^2}{g}$

26. Sebuah benda dilemparkan ke atas dengan kecepatan awal 40 m/s dan membentuk sudut elevasi 30°. Kecepatan benda pada saat mencapai ketinggian maksimum adalah . . .

A. 0 m/s
B. 20 m/s
C. $20\sqrt{3}$ m/s
D. 40 m/s
E. $40\sqrt{3}$ m/s

27. Sebuah peluru ditembakkan dengan kecepatan 60 m/s dengan sudut elevasi 30°, ketinggian maksimum yang dicapai adalah . . .

A. 30 m
B. 45 m
C. 50 m
D. 90 m
E. 100 m

28. Peluru ditembakkan condong ke atas dengan kecepatan awal v = $1{,}4 \times 10^3$ m/s dan mengenai sasaran yang jarak mendatarnya sejauh 2×10^5 m. Jika percepatan gravitasi 9,8 m/s^2, maka sudut elevasinya sebesar . . .

A. 10°
B. 30°
C. 45°
D. 60°
E. 75°

29. Dua buah peluru A dan B ditembakkan dari senapan yang sama dengan kecepatan awal sama tetapi sudut elevasi benda masing-masing 45° dan 60°, maka perbandingan jarak jatuh A dengan B adalah . . .

A. $\frac{1}{\sqrt{3}}$
B. $\frac{\sqrt{3}}{2}$
C. $\frac{2}{3}\sqrt{3}$
D. $\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}$
E. $\frac{\sqrt{3}}{4}$

30. Sebuah peluru ditembakkan sedemikian rupa sehingga jarak tembakannya sama dengan tiga kali tinggi maksimumnya. Jika sudut elevasi α, maka nilai tan α = . . .

A. $\frac{4}{3}$
B. 1
C. $\frac{3}{4}$
D. $\frac{1}{2}$
E. $\frac{1}{4}$

Fisika (bahasa Yunani: fysikós, "alamiah" atau fýsis, "alam") adalah ilmu tentang alam dalam makna yang terluas.

DINAMIKA GERAK DAN GAYA

3

A. HUKUM NEWTON TENTANG GERAK

a. Hukum I Newton

Hukum I Newton berbunyi *"Jika resultan gaya pada suatu benda sama dengan nol ($\sum F = 0$), maka benda yang diam akan tetap diam dan benda yang bergerak akan tetap bergerak dengan kecepatan tetap".* Secara matematis dituliskan sebagai berikut.

$$\sum F = 0$$
$$\sum F_x = 0, \sum F_y = 0 \text{ dan } \sum F_z = 0$$

Hukum I Newton disebut juga dengan hukum kelembaman atau hukum inersia, yaitu sifat kecenderungan suatu benda untuk mempertahankan keadaannya.

b. Hukum II Newton

Hukum II Newton berbunyi *"Percepatan (a) yang dihasilkan oleh resultan gaya pada suatu benda berbanding lurus dengan resultan gaya ($\sum F$) dan berbanding terbalik dengan massa benda (m)".* Secara

matematis dinyatakan sebagai berikut.

$$a = \frac{\sum F}{m}$$

dengan,
a = percepatan benda (m/s^2)
$\sum F$ = resultan gaya yang bekerja pada suatu benda (N)
m = massa benda (kg)

Persamaan di atas menunjukkan bahwa arah percepatan yang dihasilkan oleh suatu resultan gaya pada suatu benda sama dengan arah resultan gaya.

c. Hukum III Newton

Hukum III Newton berbunyi "*Jika benda pertama mengerjakan gaya (melakukan aksi) pada benda kedua, akan timbul gaya reaksi dari benda kedua terhadap benda pertama yang besarnya sama tetapi arahnya berlawanan*".

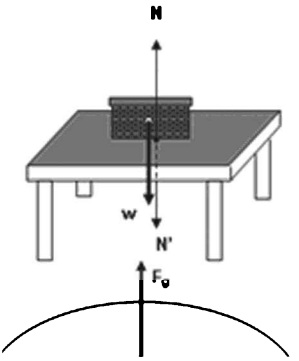
Hukum III Newton disebut juga dengan hukum aksi-reaksi, yang dinyatakan:

$$F_{aksi} = -F_{reaksi}$$

Ciri-ciri gaya aksi-reaksi:
- bekerja pada dua benda yang berbeda,
- besarnya sama tetapi arahnya berlawanan,
- selalu berpasangan dan terjadi jika dua benda berinteraksi,
- segaris kerja dan tidak saling meniadakan,
- bukan sebagai sebab akibat, tetapi keduanya timbul secara bersama-sama.

Misal:
Sebuah kotak diletakkan di atas meja. Pada sistem benda tersebut bekerja gaya-gaya seperti pada gambar berikut.

Ada empat gaya yang bekerja pada sistem tersebut yaitu:
w = berat kotak,
N = gaya tekan normal meja terhadap kotak,
N'= gaya tekan normal kotak pada meja, dan
F_g = gaya gravitasi bumi pada kotak.



Pasangan gaya aksi-reaksi memenuhi sifat: sama besar, berlawanan arah dan bekerja pada dua benda. Dari sifat tersebut dapat ditentukan dua pasangan aksi-reaksi yaitu:

- w dengan F_g
- N dengan N'

Catatan:
w dan N bukan aksi-reaksi karena bekerja pada satu benda (kotak) melainkan hukum I Newton yaitu $\Sigma F = 0$.

B. JENIS-JENIS GAYA

a. Gaya Berat

Berat merupakan gaya gravitasi bumi yang bekerja pada suatu benda. Gaya berat (w) yang dialami benda besarnya sama dengan perkalian antara massa (m) benda dengan percepatan gravitasi di tempat itu. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

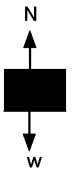
$$w = mg$$

dengan,
w = berat benda (N)
m = massa benda (kg)
g = percepatan gravitasi bumi (m/s^2)

Arah dari gaya gravitasi selalu menuju ke pusat bumi (tegak lurus bidang datar).

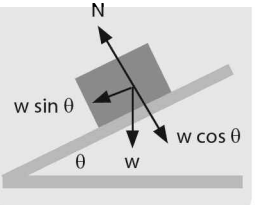
b. Gaya Normal

Gaya normal (N) adalah gaya yang bekerja pada bidang yang bersentuhan antara dua permukaan benda, arahnya selalu tegak lurus dengan bidang sentuh.



Arah gaya normal selalu tegak lurus bidang tempat benda itu berada.
Gaya normal (N) pada bidang datar tanpa gaya luar:
$N = w = mg$

Gaya normal (N) pada bidang miring licin (tanpa gesekan) dengan kemiringan θ :
$N = w \cos \theta$
$= mg \cos \theta$



c. Gaya Gesek

Gaya gesek adalah gaya kontak yang sejajar bidang sentuh dan arahnya selalu berlawanan dengan arah gerak benda (arah kecenderungan gerak benda). Gaya gesekan dapat dibedakan menjadi dua, yaitu gaya gesekan statis dan gaya gesekan kinetis.
Gaya gesek statis (f_s) adalah gaya gesek yang bekerja pada benda selama benda tersebut masih diam. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$f_{s,\,maks} = \mu_s N$$

dengan,

$f_{s,\,maks}$	=	gaya gesekan statis maksimum (N)
μ_s	=	koefisien gesekan statis
N	=	Gaya Normal (N)

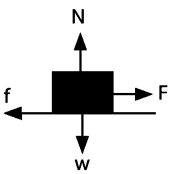
Gaya gesek kinetis (f_k) adalah gaya gesek yang bekerja pada saat benda dalam keadaan bergerak. Gaya ini termasuk gaya disipatif,

yaitu gaya dengan usaha yang dilakukan akan berubah menjadi kalor. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut.

$$f_k = \mu_k N$$

dengan,
f_k = gaya gesekan kinetis (N)
μ_k = koefisien gesekan kinetis

Catatan:
Koefisien gesekan bernilai $0 \leq \mu \leq 1$, untuk $\mu = 0$ (bidang licin sempurna) dan $\mu = 1$ (bidang sangat kasar).
Perhatikan gambar berikut!

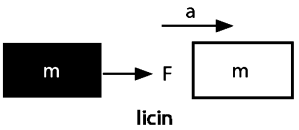


- Jika $F < f_s \rightarrow$ benda dalam keadaan diam.
- Jika $F = f_s \rightarrow$ benda tepat saat akan bergerak.
- Jika $F > f_s \rightarrow$ benda bergerak dan gaya gesekan statis (f_s) berubah menjadi gaya gesekan kinetis (f_k).

C. PENERAPAN HUKUM NEWTON

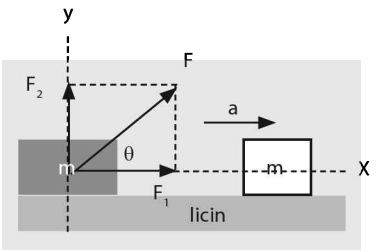
a. Gerak Pada Bidang Batar

Sesuai dengan hukum II Newton, berlaku:



$$a = \frac{\sum F}{m} = \frac{F}{m}$$

Sesuai dengan hukum II Newton, berlaku:

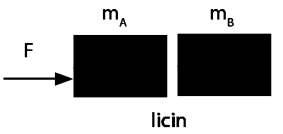


$$a = \frac{\sum F_x}{m} = \frac{F\cos\theta}{m}$$

Jika benda berada pada bidang datar yang kasar, maka kita harus memperhitungkan gaya gesek antara benda dan bidang datar.

b. Gerak Bua Benda Bersentuban

Perhatikan gambar berikut!



F = gaya yang bekerja pada benda A
F_{AB} = gaya kontak yang dilakukan benda A pada benda B
F_{BA} = gaya kontak yang dilakukan benda B pada benda A

Gaya yang bekerja pada benda A adalah:

$\sum F_{xA} = m_A a$
$F - F_{BA} = m_A a \quad \ldots$ (i)

Gaya yang bekerja pada benda B adalah:

$\sum F_{xB} = m_B a$
$F_{AB} = m_B a \quad \ldots$ (ii)

Karena F_{AB} dan F_{BA} merupakan pasangan gaya aksi-reaksi, maka besarnya sama, maka substitusi persamaan (ii) ke persamaan (i), diperoleh:

$F - m_B a = m_A a$
$F = (m_A + m_B) a$

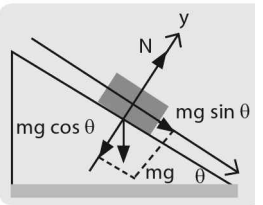
$$a = \frac{F}{m_A + m_B}$$

Besar gaya kontak antara benda A bermassa m_A dan B bermassa m_B adalah :

$$F_{AB} = \frac{m_B}{m_A + m_B} F \text{ atau } F_{BA} = \frac{m_A}{m_A + m_B} F$$

c. Gerak Pada Bidang Miring

Perhatikan gambar berikut.
Benda tidak bergerak pada sumbu-y, maka berlaku:



$\sum F_Y = 0$
$N - mg \cos \theta = 0$

$N - mg \cos \theta$

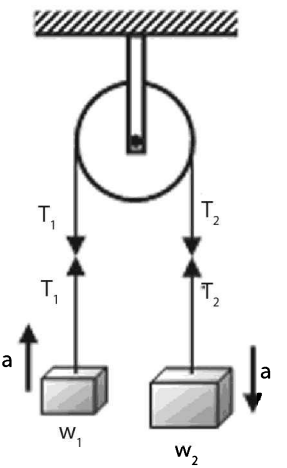
Benda bergerak pada sumbu-x (gaya yang menyebabkan bergerak adalah gaya yang sejajar dengan bidang miring, maka berlaku:

$\sum F_Y = 0$
$mg \cos \theta = ma$

$a = g \sin \theta$

d. Gerak Benda Yang Bibubungkan dengan Katrol

Dua buah benda m_1 dan m_2 dihubungkan dengan seutas tali melalui sebuah katrol licin (tali dianggap tidak bermassa). Karena $m_2 > m_1$, maka m_1 akan bergerak ke atas dan m_2 bergerak ke bawah.



Benda 1:
$\sum F_1 = m_1 a$
$T_1 - w_1 = m_1 a$
$T_1 = w_1 + m_1 a$ ... (i)

Benda 2:
$\sum F_2 = m_2 a$

$w_2 - T_2 = m_2 a$

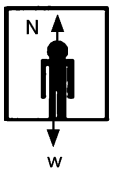
$T_2 = w_2 - m_2 a \quad \ldots \quad (ii)$

Karena tali tidak bermassa dan katrol licin, maka $T_1 = T_2$ (katrol tidak bermassa), maka dari pers. (i) dan (ii) akan diperoleh:

$$a = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1 + m_2} \times g \quad \text{dan} \quad T = \left(\frac{2m_1}{m_1 + m_2} \right) \times w_2$$

e. Gaya Tekan Kaki pada Lift

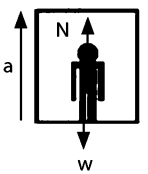
Lift berada dalam keadaan diam atau bergerak dengan kecepatan tetap (a = 0), berlaku:



$$\sum F = 0$$
$$N - w = 0$$
$$N = w$$
$$N = mg$$

Gaya tekan kaki pada saat lift diam atau bergerak dengan kecepatan konstan adalah sama dengan gaya berat orang itu.

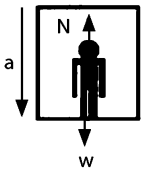
Jika lift bergerak ke atas dengan percepatan, maka besar gaya tekan kaki pada lift dapat ditentukan sebagai berikut.



$$\sum F = ma$$
$$N - w = ma$$
$$N = ma + w$$
$$N = ma + mg$$
$$N = m\,(a + g)$$

Gaya tekan kaki pada saat lift bergerak dipercepat ke atas menghasilkan gaya tekan lebih besar daripada gaya berat orang itu.

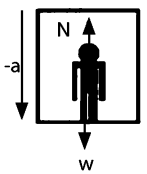
Jika lift bergerak ke bawah dengan percepatan, maka besar gaya tekan kaki pada lift dapat ditentukan sebagai berikut.



$$\sum F = ma$$
$$w - N = ma$$
$$N = w - ma$$
$$N = mg - ma$$
$$N = m(g - a)$$

Gaya tekan kaki pada saat lift bergerak dipercepat ke bawah menghasilkan gaya tekan lebih kecil daripada gaya berat orang itu.

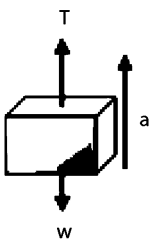
Jika lift bergerak diperlambat ke bawah menghasilkan gaya tekan lebih besar daripada gaya berat orang itu.



$$\sum F = m(-a)$$
$$w - N = m(-a)$$
$$N = w + ma$$
$$N = mg + ma$$
$$N = m(g + a)$$

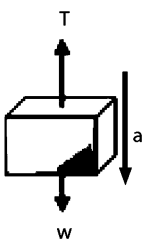
f. Benda Bigantung dengan Tali – Bigerakkan

Untuk benda bergerak ke atas dengan percepatan a, berlaku:



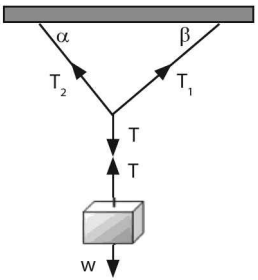
$$\sum F = ma$$
$$T - mg = ma$$
$$T = ma + mg$$
$$T = m(a + g)$$

Untuk benda bergerak ke bawah dengan percepatan a, berlaku:



$$\sum F = ma$$
$$mg - T = ma$$
$$T = mg - ma$$
$$T = m(g - a)$$

g. Benda Tergantung Setimbang pada Tali



Sistem berada dalam keadaan setimbang ($\sum F = 0$):

$\sum F_x = 0$

$T_1 \cos \beta - T_2 \cos \alpha = 0$

$\sum Fy = 0$

$T_1 \sin \beta + T_2 \sin \alpha + T - T - w = 0$

$T_1 \sin \beta + T_2 \sin \alpha + - w = 0.$

T_1 dan T_2 dapat ditentukan menggunakan rumus:

$$\frac{T_1}{\sin (90+\alpha)} = \frac{T_2}{\sin (90+\beta)} = \frac{w}{\sin (\alpha+\beta)} \quad \text{atau}$$

$$\frac{T_1}{\cos\alpha} = \frac{T_2}{\cos\beta} = \frac{w}{\sin (\alpha+\beta)}$$

dengan:

α = sudut di hadapan T_1

β = sudut di hadapan T_2

CONTOH SOAL & PEMBAHASAN

1. Jika resultan gaya yang bekerja pada sebuah benda sama dengan nol, maka:
   (1) Benda tidak akan dipercepat
   (2) Benda selalu diam
   (3) Perubahan kecepatan benda nol
   (4) Benda tidak mungkin bergerak lurus beraturan

   Pernyataan yang benda adalah . . .

   A. (1), (2), dan (3)
   B. (1) dan (3) saja
   C. (2) dan (4)
   D. (4) saja
   E. (1), (2), (3), dan (4)

Jawaban: B

Pernyataan hukum I Newton $\sum F = ma = 0$, memberikan implikasi sebagai berikut.

- Nilai $m \neq 0$, maka percepatan benda harus sama dengan nol ($a = 0$), dengan demikian benda tidak akan dipercepat.
- Jika percepatan benda bernilai nol, benda dapat berada dalam keadaan diam maupun bergerak lurus beraturan.
- Jika percepatan benda nol, maka kecepatan benda adalah konstan sehingga perubahan kecepatan nol.
- Jika kecepatan benda konstan, maka benda akan bergerak lurus beraturan.

2. Suatu gaya bekerja pada benda yang massanya 5 kg dan mengalami percepatan 2 m/s^2. Gaya yang sama akan menyebabkan benda bermassa 20 kg mengalami percepatan . . .

A. 0,5 m/s^2
B. 2,0 m/s^2
C. 3,0 m/s^2
D. 4,9 m/s^2
E. 8,0 m/s^2

Jawaban: A

- F bekerja pada $m_1 = 5$ kg menghasilkan $a_1 = 2$ m/s^2
- F bekerja pada $m_2 = 20$ kg

Karena gaya yang bekerja pada masing-masing benda adalah sama, maka berlaku:

$\sum F = m\,a \rightarrow F = m_1\,a_1$ dan $F = m_2\,a_2$

$m_1\,a_1 = m_2\,a_2$

$$a_2 = \frac{m_1}{m_2}\,a_1$$

$$a_2 = \frac{(5\text{kg})}{(20\text{kg})} \times \left(2\text{m/s}^2\right)$$

$$a_2 = 0{,}5\ \text{m/s}^2$$

3. Sebuah benda meluncur dengan kecepatan 4 m/s pada permukaan bidang datar kasar dengan koefisien gesekan kinetis 0,4. Jika massa

benda 2 kg dan percepatan gravitasi 10 m/s^2, benda akan berhenti setelah menempuh jarak . . .

A. 1, 0 m
B. 1, 5 m
C. 2,0 m
D. 2,5 m
E. 3,0 m

Jawaban: C

- koefisien kinetis, $\mu_k = 0{,}4$
- massa benda, $m = 2$ kg
- percepatan gravitasi, $g = 10$ m/s^2
- kecepatan awal benda, $v_0 = 4$ m/s

Besar gaya gesek kinetis adalah:

$f_k = \mu_k N$
$= \mu_k m g$
$= (0{,}4)\ (2\text{ kg})\ (10\text{ m/s}^2)$
$= 8$ N

Akibat gaya gesekan kinetis, benda mengalami perlambatan sebesar:

$m a = \sum F$
$ma = -f_k$
$(2\text{ kg})\ a = -8$ N
$a = -4$ m/s^2 $\rightarrow$ tanda negatif, berarti benda mengalami perlambatan.

Akibat perlambatan benda berhenti ($v_t = 0$), maka berlaku:

$v_t^2 = v_0^2 + 2 a s$
$0 = 4^2 + 2\ (-4)\ s$
$s = 2$ m

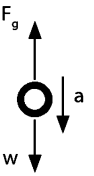
Jadi, benda akan berhenti setelah menempuh jarak 2 m.

4. Sebuah benda bermassa 0,25 kg jatuh dengan percepatan 9,2 m/s^2. Apabila gaya gesekan udara dianggap konstan, besar gaya adalah...

A. 0,2 N
B. 0,5 N
C. 1,2 N
D. 1,5 N
E. 1,6 N

Jawaban: A.

- massa benda, m = 0,25 kg
- percepatan ke bawah, a = 9,2 m/s²
- gaya gesekan udara terhadap benda = F_g



Benda bergerak ke bawah, maka berlaku:

$\sum F = ma$

$w - F_g = ma$

$F_g = w - ma$

$= m(g - a)$

$= 0{,}25 \text{ kg} \times (10 - 9{,}2) \text{ m/s}^2$

$= 0{,}25 \text{ kg} \times 0{,}8 \text{ m/s}^2$

$= 0{,}2 \text{ N}$

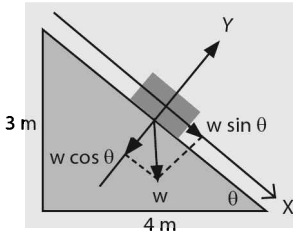
5. Sebuah benda massanya 20 kg terletak pada bidang miring dengan sudut kemiringan θ (tan θ = ¾). Jika percepatan gravitasi setempat 10 m/s², maka besar gaya normal bidang terhadap benda adalah . . .

A. 100 N
B. 120 N
C. 160 N
D. 200 N
E. 250 N

Jawaban: C.

- massa benda, m = 20 kg
- percepatan gravitasi, g = 10 m/s²
- tan θ = ¾

Berdasarkan teorema Pythagoras, panjang sisi miringnya adalah :



$r = \sqrt{3^2 + 4^2}$

$= \sqrt{25}$

$= 5 \text{ m}$

- $\cos \theta = \frac{4}{5}$
- $\sin \theta = \frac{3}{5}$

Benda tidak bergerak sepanjang sumbu-y, maka berlaku:

$\sum F_y = 0$

$N - w \cos \theta = 0$

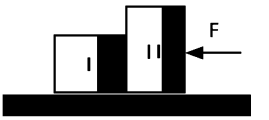
$N = w \cos \theta$

$N = mg \cos \theta$

$= (20\ kg)(10\ m/s^2)(\frac{4}{5})$

$= 160\ N$

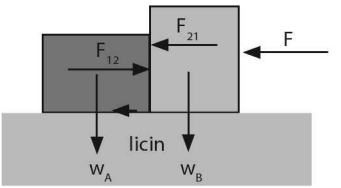
6. Balok I massa 1 kg dan balok II massanya 2 kg terletak pada lantai licin seperti pada gambar. Jika F = 6 N, gaya kontak kedua balok adalah . . .



A. 0 Nm
B. 1 N
C. 2 N
D. 6 N
E. 18 N

Jawaban: C

- massa balok I, $m_1 = 1$ kg
- massa balok II, $m_2 = 2$ kg
- Gaya dorong pada massa II, F = 6 N.



Percepatan masing-masing benda adalah:

$$a = \frac{F}{m_I + m_{II}}$$

$$= \frac{6N}{1kg + 2kg}$$

$$= 2\ m/s^2$$

Besar gaya kontak antarbenda adalah:

$$F_{21} = \frac{m_{II}}{m_I + m_{II}} F$$
$$= \frac{1}{1+2}(6N)$$
$$= 2\ N$$

7. Di dalam lift ditempatkan sebuah timbangan badan. Saat lift dalam keadaan diam seseorang menimbang badannya dan diketahui bahwa berat badannya 500 N. Jika lift bergerak ke atas dengan percepatan 5 m/s^2 dan g = 10 m/s^2, berat orang tersebut menjadi . . .

A. 100 N
B. 250 N
C. 400 N
D. 500 N
E. 750 N

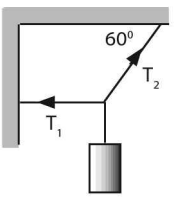
Jawaban: E

- berat orang saat lift diam, w = 500 N
- lift bergerak ke atas dengan percepatan, a = 5 m/s^2
- percepatan gravitasi, g = 10 m/s^2

Berat orang dalam lift yang dipercepat ke atas adalah:

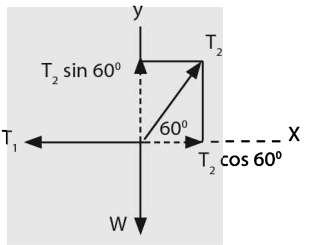
$N = m(a + g)$
$= 50\ kg \times (5 + 10)\ m/s^2$
$= 50\ kg \times 15\ m/s^2$
$= 750\ N$

8. Perhatikan gambar di samping!
Benda digantung dengan dua utas tali terlihat seperti pada gambar. Kesamaan yang memenuhi syarat kesetimbangan horizontal adalah . . .



A. $T_1 = T_2 \cos \theta$
B. $T_1 \cos \theta = W$
C. $T_1 \cos \theta = T_2$
D. $T_1 \sin \theta = T_2$
E. $T_2 = W \sin \theta$

Jawaban: A



Sistem berada dalam keadaan setimbang, maka berlaku:

$\sum F_X = 0$

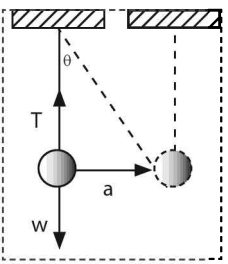
$T_2 \cos 60^0 - T_1 = 0$

$T_1 = T_2 \cos 60^0$

9. Sebuah bandul yang digantung pada atap sebuah gerobak berada dalam keadaan setimbang saat gerobak diam. Suatu saat gerobak ditarik dengan gaya konstan sedemikian hingga kecepatannya 13 m/s saat mencapai jarak 5 m. Dalam keadaan gerobak berjalan tersebut simpangan bandul terhadap posisi setimbang sekitar . . .

A. 0°
B. 15°
C. 30°
D. 45°
E. 60°

Jawaban: E



- kecepatan awal bandul, $v_0 = 0$
- kecepatan bandul saat diberikan gaya konstan, v = 13 m/s
- simpangan bandul, s = 5 m.

Semula bandul dalam keadaan setimbang (gerobak diam), maka:

$T - w = 0$

$T = w$

Gerobak bergerak dengan gaya konstan (GLBB), maka percepatan sistem tersebut adalah:

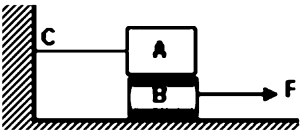
$$a = \frac{v^2 - v_0^2}{2s}$$

$$= \frac{(13)^2 - (0)^2}{2(5)} = \frac{169}{10} = 16{,}9 \ m/s^2$$

Simpangan bandul terhadap posisi setimbang adalah:

$$\tan\theta = \frac{F_x}{T}$$
$$= \frac{ma}{mg}$$
$$= \frac{a}{g}$$
$$= \frac{16,9}{10}$$
$$= 1.69$$
$$\Leftrightarrow \theta = 60^0$$

10. Perhatikan gambar berikut !

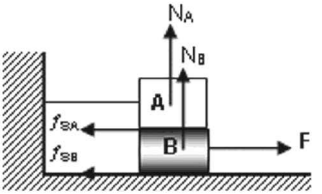


Balok A beratnya 100 N diikat dengan tali mendatar C. Balok B beratnya 500 N. Koefisien gesekan antara A dan B = 0,2 dan koefisien gesekan antara B dan lantai = 0,5. Besar gaya (F) minimum untuk menggeser balok B adalah . . .

A. 950 N
B. 750 N
C. 600 N
D. 320 N
E. 100 N

Jawaban: D

- berat balok A, w_A = 100 N
- berat balok B, w_B = 500 N
- koefisien gesekan antara A dan B, μ_B = 0,2
- koefisien gesekan antara B dan lantai, μ_L = 0,5



Dari gambar di atas, diperoleh:

$f_{sA} = \mu_B \cdot N_A = \mu_B \cdot w_A$

$f_{sB} = \mu_L \cdot (N_A + N_B) = \mu_L \cdot (w_A + w_B)$

Besar gaya minimum untuk menggeser balok B sama dengan besar gaya saat tepat akan bergerak. Syaratnya $\Sigma F_x = 0$, sehingga berlaku persamaan:

$F - f_{sA} - f_{sB} = 0$

$F = f_{sA} + f_{sB}$

$= \mu_B \cdot N_A + \mu_L \cdot (N_A + N_B)$

$= (0.2 \times 100\ N) + 0.5 \times (100 + 500)N$

$= 20\ N + 300\ N$

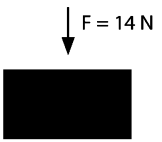
$= 320\ N$

LATIHAN SOAL 3

1. Gaya *F* sebesar 12 N bekerja pada sebuah benda yang massanya m_1 menyebabkan percepatan sebesar 8 m/s^2. Ketika gaya *F* bekerja pada benda yang bermassa $m_{2,}$ percepatan yang ditimbulkan gaya *F* sebesar 2 m/s^2. Jika gaya *F* bekerja pada benda yang bermassa m_1 + $m_{2,}$ maka percepatan yang timbul pada benda itu sebesar . . .
   A. 1,2 m/s^2
   B. 1,6 m/s^2
   C. 2,4 m/s^2
   D. 3,0 m/s^2
   E. 3,6 m/s^2

2. Jika sebuah benda bermassa 6 kg bekerja resultan gaya sebesar 24 N, maka besar percepatan yang dialami benda adalah . . .
   A. 18 m/s
   B. 12 m/s
   C. 6 m/s
   D. 4 m/s
   E. 3 m/s

3. Perhatikan gambar berikut.



   Besar gaya normal yang dialami oleh balok bermassa 3 kg adalah . . . (g = 10 m/s^2)

A. 44 N
B. 42 N
C. 30 N
D. 16 N
E. 14 N

4. Sebuah benda ditarik oleh 3 gaya seperti gambar berikut.

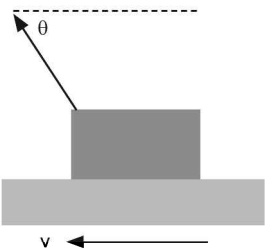
Berdasarkan gambar di atas, diketahui:
(1) Percepatan benda nol,
(2) Benda bergerak lurus beraturan,
(3) Benda dalam keadaan diam,
(4) Benda akan bergerak jika berat benda lebih kecil dari gaya tariknya.

Pernyataan di atas benar ditunjukkan oleh nomor . . .
A. (1), (2), dan (3)
B. (1) dan (3)
C. (2) dan (4)
D. (4) saja
E. (1), (2), (3), dan (4)

5. Benda bermassa 5 kg, mula-mula diam dan dipercepat oleh gaya tetap 10 N. Setelah menempuh jarak 9 meter, kelajuan benda tersebut adalah . . .
A. 118 m/s
B. 36 m/s
C. 6 m/s
D. 4,5 m/s
E. 3,6 m/s

6. Sebuah benda yang massanya 8 kg, sedang bergerak dengan kecepatan bertambah secara teratur dari 12 m/s menjadi 44 m/s dalam waktu 2 detik. Resultan gaya yang bekerja pada benda tersebut besarnya adalah . . .
A. 2 N
B. 8 N
C. 16 N
D. 64 N
E. 128 N

7. Perhatikan gambar berikut.



Balok yang beratnya w ditarik sepanjang permukaan mendatar dengan kelajuan konstan v oleh gaya F yang bekerja pada sudut θ terhadap horizontal. Besarnya gaya normal yang bekerja pada balok oleh permukaan adalah . . .

A. $w + F \cos \theta$
B. $w + F \sin \theta$
C. $w - F \sin \theta$
D. $w - F \cos \theta$
E. w

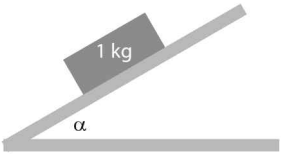
8. Sebuah benda meluncur dari keadaan diam dari puncak bidang miring dengan percepatan 6 m/s². Jika massa benda tersebut 6 kg, maka sudut kemiringan bidang tersebut adalah . . .

A. 30°
B. 37°
C. 45°
D. 53°
E. 60°

9. Sebuah gaya *F* yang dikerjakan pada benda bermassa m_A menghasilkan percepatan 6 m/s². Gaya yang sama jika dikerajakan pada benda bermassa m_B akan menghasilkan percepatan 12 m/s². Jika m_A dan m_B digabung, maka percepatan yang dihasilkan oleh gaya *F* adalah . . .

A. 2 m/s²
B. 3 m/s²
C. 4 m/s²
D. 5 m/s²
E. 6 m/s²

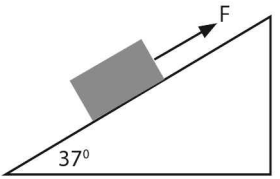
10. Perhatikan gambar berikut!



Benda yang massanya 1 kg berada pada bidang miring licin $\alpha = 30°$. Jika $g = 10$ m/s^2, maka percepatan benda tersebut adalah . . .

A. 5 m/s^2
B. $5\sqrt{3}$ m/s^2
C. 8 m/s^2
D. 10 m/s^2
E. $10\sqrt{3}$ m/s^2

11. Perhatikan gambar berikut!



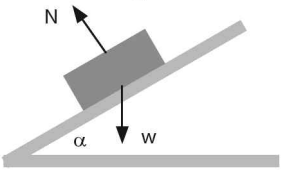
Sebuah benda bermassa 5,0 kg ditarik dengan tali ke atas bidang miring yang kasar oleh sebuah gaya 71 N. Jika koefisien gesekan antara benda dan bidang adalah 0,4, percepatan yang dialami benda adalah . . . (g = 10 m/s^2 , sin 37° = 0,6, cos 37° = 0,8).

A. 0,5 m/s^2
B. 2 m/s^2
C. 2,5 m/s^2
D. 3 m/s^2
E. 5 m/s^2

12. Sebuah kotak yang massanya 10 kg, mula-mula diam kemudian bergerak turun pada bidang miring yang membuat sudut 30° terhadap horizontal tanpa gesekan. Benda tersebut menempuh jarak 10 meter sebelum sampai ke bidang datar. Kecepatan kotak pada akhir bidang miring jika percepatan gravitasi bumi 9,8 m/s^2 adalah . . .

A. 4,43 m/s^2
B. 7 m/s^2
C. 9,9 m/s^2
D. 26,3 m/s^2
E. 44,3 m/s^2

13. Perhatikan gambar berikut.



Benda dengan massa *m* meluncur sepanjang bidang miring yang licin. Jika percepatan gravitasi bumi *g*, maka gaya penggerak yang mempengaruhi besarnya percepatan benda adalah . . .

A. mg sin α
B. mg cos α
C. N cos α
D. N sin α
E. N

14. Sebuah mobil yang massanya 10.000 kg bergerak dengan kecepatan 20 m/s. Mobil direm hingga berhenti dalam waktu 20 s. Gaya rem yang bekerja pada mobil tersebut hingga berhenti adalah . . .

A. 10.000 N
B. 20.000 N
C. 30.000 N
D. 40.000 N
E. 50.000 N

15. Benda yang massanya 20 kg terletak pada bidang miring yang licin dengan sudut 30°, ditahan oleh suatu gaya menuju pusat massa benda sehingga diam di tempat. Besar gaya penahan tersebut adalah . . .

A. $196\sqrt{2}$ N
B. 196 N
C. $98\sqrt{3}$ N
D. $98\sqrt{2}$ N
E. 98 N

16. Seseorang berada dalam lift yang sedang bergerak ke atas dengan percepatan 5 m/s^2. Pada saat itu berat orang tersebut adalah . . .

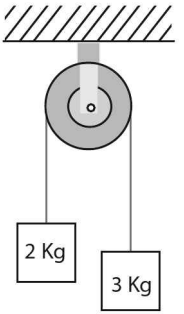
A. 3 kali semula
B. 2 kali semula
C. 1,5 kali semula
D. tetap
E. ½ kali semula

17. Seorang anak berada di dalam lift yang bergerak ke atas dengan percepatan 4 m/s^2. Jika massa anak 40 kg , maka gaya normal *N* yang bekerja pada anak tersebut adalah . . . (g = 10 m/s^2)
    A. 40 N
    B. 160 N
    C. 240 N
    D. 400 N
    E. 560 N

18. Sebuah benda massanya 1 kg digantung dengan seutas tali. Jika g = 9,8 m/s^2, maka gaya tegangan tali adalah . . .
    A. 0 N
    B. 4,9 N
    C. 9,8 N
    D. 10 N
    E. 10,8 N

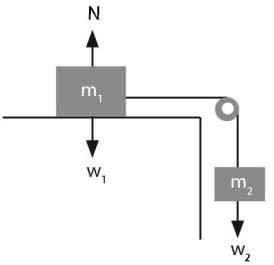
19. Gaya *F* sebesar 12 N bekerja pada sebuah benda yang massanya m_1 menyebabkan percepatan sebesar 8 m/s^2. Jika gaya *F* bekerja pada benda bermassa m_2, maka percepatan yang ditimbulkan 2 m/s^2. Jika gaya *F* bekerja pada benda yang bermassa $m_1 + m_2$, maka percepatan yang ditimbulkan sebesar . . .
    A. 1,2 m/s^2
    B. 1,6 m/s^2
    C. 2,4 m/s^2
    D. 3,0 m/s^2
    E. 3,6 m/s^2

20. Perhatikan gambar berikut!



Dua benda bermassa 2 kg dan 3 kg diikat tali, kemudian ditautkan pada katrol yang massanya diabaikan seperti gambar.
Jika besar percepatan gravitasi = 10 m/s^2, gaya tegangan tali yang dialami sistem adalah. . .
    A. 20 N
    B. 24 N
    C. 27 N
    D. 30 N
    E. 50 N

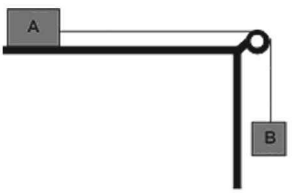
21. Perhatikan gambar berikut.



Jika sistem bergerak dengan percepatan 2 m/s^2 ; massa m_1 = 10 kg, g = 10 m/s^2 ; dan massa m_2 = 2,5 kg, maka besar gaya tegangan tali adalah . . .

A. 20 N
B. 25 N
C. 30 N
D. 35 N
E. 40 N

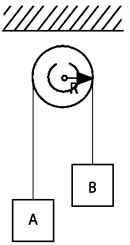
22. Perhatikan gambar berrikut!



Balok A bermassa 30 kg yang diam di atas lantai licin dihubungkan dengan balok B bermassa 10 kg melalui sebuah katrol. Balok B mula-mula ditahan, kemudian dilepaskan sehingga bergerak turun. Jika g = 10 m/s^2, maka percepatan sistem adalah . . .

A. 2,5 m/s^2
B. 10 m/s^2
C. 12 m/s^2
D. 15 m/s^2
E. 25 m/s^2

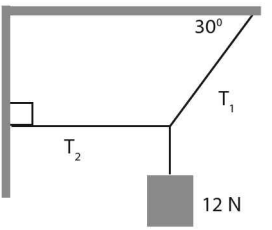
23. Dua buah benda A dan B masing-masing bermassa 6 kg dan 2 kg diikat dengan tali melalui sebuah katrol seperti pada gambar berikut.



Jika gesekan tali dan katrol diabaikan dan $g = 10\ m/s^2$, besar tegangan talinya adalah. . .

A. 15 N
B. 25 N
C. 30 N
D. 45 N
E. 55 N

24. Perhatikan gambar berikut!



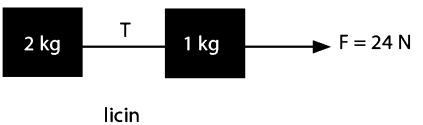
Jika sistem seperti gambar di atas dalam keadaan setimbang, maka besarnya tegangan tali T_1 dan T_2 adalah . . .

A. $6\sqrt{3}$ N dan 12 N
B. 12 N dan $12\sqrt{3}$ N
C. $12\sqrt{3}$ N dan 24 N
D. 24 N dan $12\sqrt{3}$ N
E. 28 N dan $12\sqrt{3}$ N

25. Koefisien gesek statik antara sebuah lemari kayu dengan lantai kasar suatu bak truk sebesar 0,75. Percepatan maksimum yang masih boleh dimiliki truk agar lemari tetap tak bergerak terhadap bak truk adalah . . .

A. nol
B. $0{,}75\ m/s^2$
C. $2{,}5\ m/s^2$
D. $7{,}5\ m/s^2$
E. $10\ m/s^2$

26. Dua buah benda masing-masing massanya 2 kg dan 1 kg dihubungkan dengan tali dan ditarik dengan gaya tetap 24 N seperti gambar berikut.



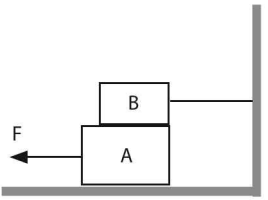
Besar tegangan tali penghubung kedua benda adalah . . .

A. 8 N
B. 10 N
C. 12 N
D. 15 N
E. 16 N

27. Jika diketahui bahwa jari-jari bumi $6{,}4 \times 10^6$ m, maka kelajuan lepas suatu roket yang diluncurkan vertikal dari permukaan bumi adalah . . . .

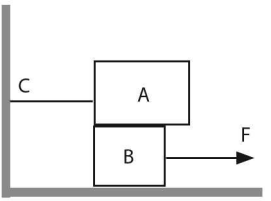
A. $4\sqrt{2} \times 10^3$ m/s
B. $6\sqrt{2} \times 10^3$ m/s
C. $8\sqrt{2} \times 10^3$ m/s
D. $10\sqrt{2} \times 10^3$ m/s
E. $12\sqrt{2} \times 10^3$ m/s

28. Kedudukan balok A dan B seperti pada gambar. Berat balok A dua kali berat balok B. Koefisien gesekan balok A dengan lantai sama dengan koefisien gesekan balok A dengan balok B. Jika balok A bergerak sesuai dengan arah gaya F, maka gesekan A terhadap lantai dibanding dengan gaya gesekan A terhadap B adalah . . .



A. 1 : 2
B. 1 : 3
C. 2 : 1
D. 3 : 1
E. 3 : 2

29. Balok A beratnya 100 N diikat dengan tali mendatar di C seperti gambar berikut.



Balok *B* beratnya 500 N. Koefisien gesekan antara *A* dan *B* sebesar 0,2 dan koefisien gesekan antara *B* terhadap lantai sebesar 0,5. Besarnya gaya *F* minimal untuk menggeser balok *B* adalah . . .

A. 950 N
B. 750 N
C. 600 N
D. 320 N
E. 100 N

30. Sebuah mobil bermassa m memiliki mesin berdaya P. Jika pengaruh gesekan kecil, maka waktu minimum yang diperlukan mobil agar mencapai kecepatan v dari keadaan diam adalah...

A. $\frac{mv}{P}$
B. $\frac{P}{mv}$
C. $\frac{P}{mv^2}$
D. $\frac{mv^2}{2P}$
E. $\frac{mv^2}{P}$

Fisika (bahasa Yunani: fysikós, "alamiah" atau fýsis, "alam") adalah ilmu tentang alam dalam makna yang terluas.

GERAK MELINGKAR

4

A. BESARAN-BESARAN FISIS DALAM GERAK MELINGKAR

a. Periode dan Frekuensi

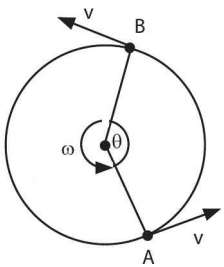
Gerak melingkar sering dideskripsikan dalam frekuensi (f), yaitu jumlah putaran tiap satuan waktu atau jumlah putaran per detik. Sedangkan, periode (T) adalah waktu yang diperlukan untuk menempuh satu putaran.

$$T = \frac{1}{f} \quad \text{atau} \quad f = \frac{1}{T}$$

dengan,

T = periode (s)

f = frekuensi (Hz)



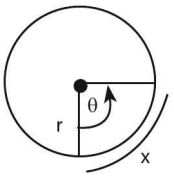
Sebuah benda bergerak melingkar dengan arah gerak berlawanan arah jarum jam dan berawal dari titik A. Selang waktu yang dibutuhkan benda untuk menempuh satu putaran adalah T. Pada satu putaran, benda telah menempuh lintasan linear sepanjang satu keliling lingkaran ($2\pi r$).

Kecepatan linear (v) merupakan hasil bagi panjang lintasan linear yang ditempuh benda dengan selang waktu tempuhnya.

$$v = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi rf$$

dengan,
v = kecepatan linear (m/s)
r = jari-jari lingkaran/jarak benda dengan pusat lingkaran (m)

b. Perpindaban Sudut



Dalam Sistem Internasional (SI), perpindahan sudut memiliki satuan radian (rad). Besar sudut θ dalam radian didefinisikan sebagai perbandingan jarak linear (s) dengan jari-jari roda (r)

$$\theta(\text{rad}) = \frac{s}{r}$$

- bertanda (+), bila arah perputarannya berlawanan dengan arah jarum jam.
- bertanda (–), bila arah perputarannya searah dengan arah jarum jam.

c. Kecepatan Sudut dan Kecepatan Linear

Besarnya perubahan/perpindahan sudut (Δθ) dalam selang waktu (Δt) disebut ***kelajuan angular*** atau ***kelajuan sudut***, yang dinyatakan sebagai berikut.

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

dengan,
ω = kecepatan sudut rata-rata (rad/s)
$\Delta\theta$ = perpindahan sudut (rad)
Δt = selang waktu (s)

Kecepatan sudut atau ***kecepatan angular*** adalah kelajuan sudut beserta arahnya.

Dalam melakukan satu putaran penuh, sudut yang ditempuh adalah 360° atau 2π rad dalam waktu T, dengan T adalah periode. Dengan demikian persamaan di atas dapat dinyatakan:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

dengan,
ω = kecepatan sudut rata-rata (rad/s)
T = periode (s)
f = frekuensi (hertz)

Untuk perpindahan linear Δx sepanjang busur lingkaran, kecepatan linearnya adalah:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = r\frac{\Delta \theta}{\Delta t} = r\ \omega$$

dengan,
r = jarak partikel ke pusat lingkaran (m)
ω = kecepatan sudut (rad/s)
v = kecepatan linear (m/s)

d. Percepatan Sudut

Percepatan sudut merupakan perubahan kecepatan sudut gerak melingkar suatu partikel dalam selang waktu tertentu.
Percepatan sudut rata-rata didefinisikan sebagai hasil bagi antara perubahan kecepatan sudut ($\Delta\omega$) dengan selang waktu.
dengan,

$$\bar{\alpha} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

$\bar{\alpha}$ = percepatan sudut rata-rata (rad/s^2)
$\Delta\omega$ = perubahan kecepatan sudut (rad/s)
Δt = selang waktu (s)

Percepatan sudut sesaat (percepatan sudut) adalah perubahan kecepatan sudut dalam selang waktu yang singkat, dinyatakan dengan rumus:

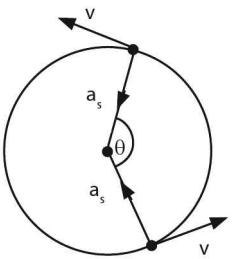
$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad \text{untuk } \Delta t \text{ sangat kecil}$$

Dalam gerak melingkar, arah percepatan linear (a) menyinggung lingkaran, karena itu percepatan linear disebut juga percepatan tangensial (a_t).
Untuk perubahan kecepatan linear Δv dalam selang waktu Δt, percepatan linear dinyatakan:

$$a_t = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} r = \alpha\ r$$

dengan,
r = jarak partikel terhadap pusat putaran.

e. Percepatan Sentripetal



Percepatan sentripetal adalah percepatan sebuah benda yang menyebabkan benda tersebut bergerak melingkar. Percepatan sentripetal selalu tegak lurus terhadap kecepatan linearnya dan mengarah ke pusat lingkaran.
Jika sebuah partikel melakukan gerak melingkar beraturan, maka percepatan tangensialnya sama dengan nol, tetapi partikel itu masih mengalami percepatan sentripetal, a_s.

Percepatan sentripetal ditentukan dengan rumus:

$$a_s = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$$

dengan,

a_s = percepatan sentripetal (m/s^2)
v = kecepatan linear (m/s)
r = jarak partikel ke pusat putaran (m)

Percepatan total partikel yang mengalami GMBB dinyatakan:

$a = \sqrt{a_s^2 + a_t^2}$, dengan a_s = percepatan sentripetal, a_t = percepatan tangensial.

B. PERBANDINGAN GERAK TRANSLASI DENGAN GERAK MELINGKAR

Perbandingan gerak translasi (gerak lurus) menjadi gerak melingkar dapat dilihat pada tabel berikut.

Gerak Translasi	Gerak Melingkar
s (m) v (m/s) a (m/s^2)	θ (rad) ω (rad/s) α (rad/s^2)
$s = v\,t \rightarrow$ GLB	$\theta = \omega\,t \rightarrow$ GMB
GLBB	**GMBB**
$s = v_0 t \pm \frac{1}{2} at^2$ $v = v_0 \pm at$ $v^2 = v_0^2 \pm 2as$	$\theta = \theta_0 t \pm \frac{1}{2} \alpha t^2$ $\omega = \omega_0 \pm \alpha t$ $\omega^2 = \omega_0^2 \pm 2\alpha\theta$

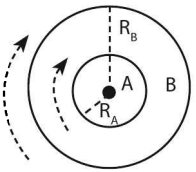
C. HUBUNGAN RODA-RODA PADA GERAK MELINGKAR

Pada prinsipnya ada tiga macam hubungan roda-roda dalam gerak melingkar. Hubungan tersebut adalah dua roda sepusat, bersinggungan, dan terhubung dengan sabuk (tali atau rantai).

a. Dua Roda Sepusat

Pada dua roda yang sepusat, berlaku:

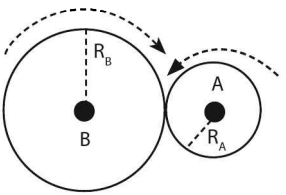
- Arah putar kedua roda sama
- Kecepatan sudut kedua roda sama
- $\omega_A = \omega_B$
- $\frac{v_A}{R_A} = \frac{v_B}{R_B}$



b. Dua Roda Saling Bersinggungan

Pada dua roda yang saling bersinggungan, berlaku:

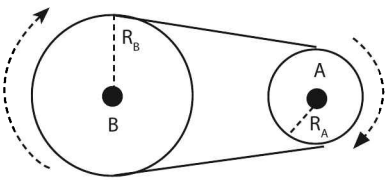
- Arah putar kedua roda berlawanan
- Kecepatan linear kedua roda sama
- $v_A = v_B$
- $\omega_A R_A = \omega_B R_B$



c. Dua Roda Terbubung dengan Sabuk atau Rantai

Pada dua roda yang dihubungkan dengan sabuk atau rantai, berlaku:

- Arah putar kedua roda sama
- Kecepatan linear kedua roda sama
- $v_A = v_B$
- $\omega_A R_A = \omega_B R_B$



CONTOH SOAL & PEMBAHASAN

1. Sebuah partikel bergerak melingkar dengan periode tetap sebesar 1/5 detik. Maka partikel itu bergerak melingkar dengan . . .
   A. 1/5 putaran tiap detik, dengan laju anguler berubah
   B. 5 putaran selama 5 detik dengan laju tetap
   C. 5 putaran tiap detik dengan laju anguler tetap
   D. 5 putaran tiap detik dengan laju anguler berubah
   E. 5 putaran tiap detik setelah itu diam

   Jawaban: C

   - Periode rotasi, T = 1/5 detik.
   - Periode (T) adalah waktu yang dibutuhkan untuk menempuh satu putaran.

   $$T = \frac{t}{n}$$

   dengan,
   t = waktu yang dibutuhkan untuk berotasi (s)
   n = banyak putaran dalam selang waktu tertentu
   T = 1/5 detik, artinya dalam waktu 1 detik partikel tersebut melakukan gerak melingkar sebanyak 5 putaran. Kecepatan anguler, dinyatakan: $\omega = 2\pi/T$, maka untuk periode (T) tetap, kecepatan angulernya juga tetap.

   Dengan demikian, dalam kasus ini partikel itu bergerak melingkar dengan 5 putaran tiap detik dengan laju anguler tetap.

2. Rayza memacu sepeda motornya pada lintasan yang berbentuk lingkaran dalam waktu 1 jam. Dalam waktu tersebut, Rayza telah melakukan 120 putaran. Periode, frekuensi, dan kecepatan linearnya jika lintasan tersebut memiliki diameter 600 m adalah ....
   A. 30 s; 1/30 Hz; 20π m/s
   B. 20 s; 1/20 Hz; 30π m/s
   C. 10 s; 1/10 Hz; 10π m/s
   D. 40 s; 1/40 Hz; 20π m/s
   E. 10 s; 1/10 Hz; 30π m/s

   Jawaban: A

- diameter lingkaran, d = 600 m $\rightarrow$ r = 300 m
- waktu tempuh, t = 1 jam = 3600 s
- jumlah putaran selama 1 jam, n = 120 putaran

Periode gerak melingkar adalah:

$$T = \frac{t}{n}$$
$$= \frac{3600\,s}{120}$$
$$= 30\ s$$

Frekuensi gerak melingkar adalah:

$$f = \frac{1}{T}$$
$$= \frac{1}{30\ s}$$
$$= \frac{1}{30}\ Hz.$$

Kecepatan linear gerak tersebut adalah:

$$v = 2\pi r f$$
$$= 2\pi\,(300m)\left(\frac{1}{30}Hz\right)$$
$$= 20\ \pi\ m/s.$$

3. Sebuah benda mengalami gerak melingkar beraturan dengan jari-jari lintasan 1 m. Jika dalam waktu 10 s mengalami perpindahan sudut sebesar 20 putaran, maka periode gerak benda itu adalah . . .

A. 0,2 s
B. 0,5 s
C. 2,0 s
D. 5,0 s
E. 10,2 s

Jawaban: A

- jari-jari lintasan, r = 1 m
- perpindahan sudut selama t detik, n = 20 putaran
- selang waktu, t = 10 s

Periode gerak benda adalah:

$$T = \frac{t}{n}$$
$$= \frac{10\,s}{20\,putaran}$$
$$= 0{,}2\ s.$$

4. Sebuah roda yang berjari-jari 42 cm berputar dengan perpindahan sudut 240°. Jarak yang telah ditempuh oleh sebuah partikel yang terletak pada tepi roda adalah ....

A. 4π rad
B. 176 m
C. 2π rad
D. 242 m
E. 1π rad

Jawaban: B

Ingat:

$$1^0 = \frac{\pi}{180^0} rad$$

- jari-jari roda, r = 42 cm
- perpindahan sudut, $\theta = 240°$.

Perpindahan sudut dalam satuan radian adalah:

$$\theta = 240° \times \frac{x}{180°}\ rad$$
$$= \frac{4}{3}\ \pi\ rad$$

Jarak linear yang telah ditempuh titik yang terletak di tepi roda adalah:

$$s = \theta r$$
$$= \frac{4}{3}\ \pi\ (42\ cm)$$
$$= \frac{4}{3} \cdot \left(\frac{22}{7}\right) \cdot (42\ cm)$$
$$= 176\ cm.$$

5. Sebuah titik melakukan gerak melingkar beraturan. Ternyata tiap menit melakukan 600 putaran. Jika jari-jari lintasannya 20 cm, maka percepatan sentripetalnya adalah . . .

A. 8π m/s^2
B. $8\pi^2$ m/s^2
C. $80\pi^2$ m/s^2
D. $800\pi^2$ m/s^2
E. $8000\pi^2$ m/s^2

Jawaban: C

- kecepatan sudut, ω = 600 rpm
- jari-jari lintasan, r = 20 cm = 0,2 m

Kecepatan sudut titik tersebut adalah:

$$\omega = 600 \text{ rpm}$$
$$= 600 \text{ putaran/menit}$$
$$= 600 \times \frac{1 \times \text{putaran}}{\text{menit}}$$
$$= 600 \times \frac{(2\pi \text{rad})}{(60\text{s})}$$
$$= 20\pi \text{ rad/s}$$

Percepatan sentripetalnya adalah:

$$a_s = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$$
$$= (20\pi \text{ rad/s})^2 (0{,}2 \text{ m})$$
$$= 80\pi^2 \text{ m/s}^2.$$

6. Suatu benda berotasi mengitari sebuah poros dengan posisi sudutnya dapat dinyatakan sebagai $\theta(t) = 2t^2 - 9t + 4$, dengan θ dalam rad dan t dalam detik. Kecepatan sudut benda tersebut pada saat t = 1 detik adalah . . .

A. –6 rad/s
B. –5 rad/s
C. –3 rad/s
D. 4 rad/s
E. 5 rad/s

Jawaban: B

- posisi sudut, $\theta(t) = 2t^2 - 9t + 4$
- selang waktu, $t = 1$ s
- percepatan gravitasi, $g = 10$

Kecepatan sudut benda tersebut dapat ditentukan sebagai berikut.

$$\omega(t) = \frac{d\theta(t)}{dt}$$
$$= \frac{d}{dt}\left(2t^2 - 9t + 4\right)$$
$$= 4t - 9 \text{ rad / s.}$$

Untuk t = 1 detik, kecepatan sudut benda tersebut adalah:

$\omega(1) = 4\,(1) - 9$

$= -5$ rad/s

7. Sebuah benda berotasi mengitari sebuah poros dengan kecepatan sudut ω dan dapat dinyatakan sebagai $\omega(t) = t^2 - 5$, dengan ω dalam rad/s dan t dalam s. Percepatan sudut partikel pada benda saat t = 2 detik adalah . . .

A. 2 rad/s^2
B. 3 rad/s^2
C. 4 rad/s^2
D. 5 rad/s^2
E. 6 rad/s^2

Jawaban: C

- kecepatan sudut, $\omega(t) = t^2 - 5$
- selang waktu, $t = 2$ detik

Percepatan sudut partikel tersebut dapat ditentukan sebagai berikut.

$$\alpha(t) = \frac{d\omega(t)}{dt}$$
$$= \frac{d}{dt}\left(t^2 - 5\right)$$
$$= 2t \rightarrow \text{bersatuan rad / s}^2.$$

Untuk t = 2 detik, percepatan sudut partikel tersebut adalah:

$\alpha(2) = 2\,(2\text{ s})$

$= 4$ rad/s^2

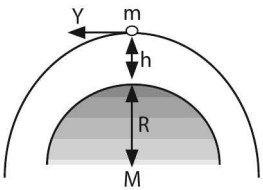
8. Sebuah satelit bumi mengorbit setinggi 3.600 km di atas permukaan bumi. Jika jari-jari bumi 6.400 km dan gerak satelit dianggap melingkar beraturan, kelajuan satelit (dalam km/s) adalah...

A. 6,4
B. 64
C. 640
D. 6400
E. 64000

Jawaban: A

- posisi satelit, h = 3.600 km
- jari-jari bumi, R = 6.400 km
- percepatan gravitasi bumi, g = 10 m/s^2 = 10^{-2} km/s^2.
- satelit mengalami gerak melingkar beraturan

Perhatikan sketsa kasus berikut.



Gaya gravitasi pada satelit akibat medan gravitasi bumi menyebabkan satelit bergerak melingkar, sehingga berlaku:
$F_G = F_S$

$$m\frac{GM}{(R+h)^2} = m\frac{v^2}{R+h}$$

$$v^2 = \frac{GM}{R+h}$$

$$= \frac{GM}{R^2} - \frac{R^2}{(R+h)}$$

$$= g\frac{R^2}{(R+h)}$$

$$v = \sqrt{\frac{gR^2}{(R+h)}}$$

$$= \sqrt{\frac{(10^{-2})(6.400)^2}{6.400+3.600}}$$

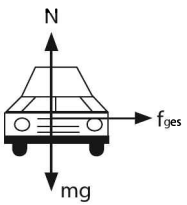
$$= 6,4 \text{ km/s}$$

9. Sebuah mobil membelok pada tikungan berbentuk busur lingkaran dengan jari-jari 20 m. Jika koefisien gesekan antara roda dan jalan 0,18 dan percepatan gravitasi 10 m/s^2, maka kecepatan mobil terbesar agar tidak tergelincir adalah . . .

A. 4 m/s
B. 6 m/s
C. 8 m/s
D. 10 m/s
E. 20 m/s

Jawaban: B

- jari-jari lintasan, r = 20 m
- percepatan gravitasi bumi, g = 10 m/s^2
- koefisien gesek antara roda dan jalan, μ_s = 0,18



Pada sumbu vertikal berlaku:

$\sum F = 0$

$N - mg = 0$

$N = mg$ . . . (i)

Pada sumbu horizontal hanya ada gaya gesekan statis. Gaya gesekan inilah yang bertindak sebagai gaya sentripetal. Agar mobil tidak tergelincir, maka mobil tidak boleh menghasilkan gaya sentripetal yang lebih besar daripada gaya gesekan maksimum, sehingga berlaku:

$$\mu_s N = m\frac{v_{maks}^{\ 2}}{r}$$

$$v_{maks} = \sqrt{\frac{\mu_s N r}{m}} \quad \text{...(ii)}$$

Substitusi persamaan (i) ke (ii), diperoleh:

$$v_{maks} = \sqrt{\mu_s g r}$$
$$= \sqrt{(0{,}18)(10\,m/s^2)(20m)}$$
$$= \sqrt{36}\ m/s$$
$$= 6\ m/s$$

10. Dua buah roda A dan B saling bersinggungan. Jika kecepatan sudut roda A = 10 rad/s dan jari-jari roda B = ½ × jari-jari roda A, maka kecepatan sudut roda B adalah ....

A. 10 rad/s
B. 15 rad/s
C. 20 rad/s
D. 25 rad/s
E. 30 rad/s

Jawaban: C

- dua roda saling bersinggungan
- kecepatan sudut roda A, ω_A = 10 rad/s
- $R_B = ½\ R_A \rightarrow R_A = 2R_B$

Kecepatan linear kedua roda sama, maka kecepatan sudut roda B adalah:

$$v_A = v_B$$
$$\omega_A R_A = \omega_B R_B$$
$$\omega_B = \frac{R_A}{R_B} \times \omega_A$$
$$= \frac{2R_B}{R_B} \times (10 rad/s)$$
$$= 20\ rad/s$$

LATIHAN SOAL 4

1. Benda yang bergerak melingkar beraturan mempunyai:
   (1) kelajuan konstan
   (2) percepatan linearnya = nol
   (3) kecepatan sudutnya konstan
   (4) percepatan sentripetalnya konstan
   Pernyataan di atas yang benar adalah . . . .
   A. (1), (2), dan (3)
   B. (1) dan (3)
   C. (2) dan (4)
   D. (4) saja
   E. (1), (2), (3), dan (4)

2. Sebuah benda yang bergerak melingkar beraturan mempunyai . . . .
   A. kecepatan yang konstan, kelajuan berubah
   B. kelajuan yang konstan, kecepatan berubah
   C. percepatan yang konstan, gaya berubah
   D. sudut simpangan yang konstan
   E. gaya dan kecepatan yang konstan

3. Suatu alat penggulung berputar pada 240 rpm. Dengan demikian kecepatan sudutnya . . . .
   A. 240 rad/s
   B. 120 rad/s
   C. 8π rad/s
   D. 4π rad/s
   E. 4 rad/s

4. Sebuah partikel berputar dengan kecepatan 300 rpm. Jika jari-jari lintasannya 1 m, maka kelajuan linear partikel tersebut adalah . . . .

A. 3 m/s
B. 3π m/s
C. 10 m/s
D. 10π m/s
E. 30π m/s

5. Materi bermassa m bergerak melingkar beraturan dengan frekuensi f, kecepatan sudut ω, dan membentuk lingkaran dengan radius R. Jika v adalah kelajuan serta a adalah percepatan, maka:
(1) $\omega = 2\pi f$
(2) $a_s = v^2/R$
(3) $v = \omega R$
(4) $a_s = \omega^2 R$
Pernyataan di atas yang benar adalah . . . .
A. (1), (2), dan (3)
B. (1) dan (3)
C. (2) dan (4)
D. (4) saja
E. (1), (2), (3), dan (4)

6. Sepeda dengan kari-jari roda 50 cm digunakan seorang atlet balap sepeda. Jika roda melakukan 4 putaran/sekon, maka percepatan sentripetalnya adalah . . . .
A. $4\pi^2$ m/s^2
B. $8\pi^2$ m/s^2
C. $16\pi^2$ m/s^2
D. $32\pi^2$ m/s^2
E. $44\pi^2$ m/s^2

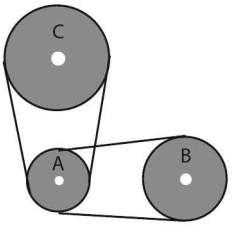
7. Benda bermassa 10 gram diikat dengan tali yang panjangnya 20 cm, diputar membentuk sebuah lingkaran dengan kelajuan konstan 10 m/s. Gaya sentripetal yang dialami benda sebesar . . . .
A. 5 N
B. 10 N
C. 15 N
D. 20 N
E. 25 N

8. Sebuah titik melakukan gerak melingkar beraturan dengan setiap 1 menit melakukan 600 putaran. Jika jari-jari lintasannya 20 cm, maka percepatan sentripetalnya adalah . . . .
A. 8π m/s^2
B. $8\pi^2$ m/s^2
C. $80\pi^2$ m/s^2
D. $800\pi^2$ m/s^2
E. $8000\pi^2$ m/s^2

9. Sebuah benda dengan massa 5 kg diikat dengan tali. Benda tersebut berputar dalam satu bidang vertikal. Lintasan dalam bidang itu berbentuk lingkaran dengan jari-jari 1,5 m. Jika kecepatan sudut tetap 2 rad/s dan g = 10 m/s^2, maka tegangan tali pada saat benda itu berada pada titik terendah adalah . . . .
   A. 30 N
   B. 40 N
   C. 50 N
   D. 70 N
   E. 80 N

10. Sebuah mobil dengan massa 1.000 kg melewati belokan jalan yang berbentuk setengah lingkaran (jari-jari 40 m). Bila keadaan jalan miring dengan sudut kemiringan 30° dan kondisi jalan licin, maka kecepatan maksimum yang diperkenankan pada mobil tersebut adalah . . . (g = 10 m/s^2).
   A. 11,23 m/s
   B. 12,23 m/s
   C. 13,23 m/s
   D. 14,23 m/s
   E. 15,23 m/s

11. Sistem roda berjari-jari R_A = 2 cm ; R_B = 4 cm ; dan R_C = 10 cm dihubungkan seperti gambar berikut.



   Jika roda B berputar 60 putaran per menit, maka laju linear roda C adalah . . . .
   A. 8 π cm/s
   B. 12 cm/s
   C. 12 π cm/s
   D. 24 cm/s
   E. 24 π cm/s

12. Sebuah benda yang massanya 10 kg bergerak melingkar beraturan dengan kecepatan 4 m/s. Jika jari-jari lingkaran 0,5 meter, maka:

(1) Frekuensi putarannya $\frac{4}{\pi}$ Hz
(2) Percepatan sentripetalnya 32 m/s^2
(3) Gaya sentripetalnya 320 N
(4) Periodenya 4π s

Pernyataan yang benar adalah ....

A. (1), (2), (3), dan (4)
B. (1), (2), dan (3)
C. (1) dan (3)
D. (2) dan (4)
E. (3) dan (4)

13. Sebuah benda bergerak melingkar beraturan dengan kelajuan linear 3 m/s. Lintasan berbentuk lingkaran dengan jari-jari 1,5 m. Frekuensi benda tersebut adalah . . .

A. $\frac{1}{\pi}$ Hz
B. $\frac{1}{2\pi}$ Hz
C. π Hz
D. $1{,}2\pi$ Hz
E. $1{,}5\pi$ Hz

14. Benda dengan massa 2 kg bergerak secara beraturan dalam lintasan melingkar. Jari-jari lintasan 0,5 m. Jika kecepatan benda tersebut 4 m/s, maka:
(1) Percepatan sentripetalnya 32 m/s^2
(2) Gaya sentripetalnya 64 N
(3) Periodenya $0{,}25\pi$ s

Pernyataan di atas yang benar adalah . . .

A. (1), (2), dan (3)
B. (1) dan (2)
C. (1) dan (3)
D. (2) dan (3)
E. (3) saja

15. Sebuah benda yang massanya 10 kg bergerak melingkar beraturan dengan kecepatan 4 m/s. Jika jari-jari lingkaran 0,5 meter, maka:
(1) Frekuensi putarannya $4/\pi$ Hz
(2) Percepatan sentripetalnya 32 m/s^2
(3) Gaya sentripetalnya 320 N
(4) Periodenya 4π s

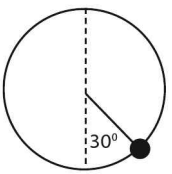
Pernyataan di atas yang benar adalah . . .

A. (1), (2), (3), dan (4)
B. (1), (2) dan (3)
C. (1) dan (3)
D. (2) dan (4)
E. (3) dan (4)

16. Sebuah ban mobil dengan jari-jari 30 cm mula-mula berputar 8 putaran/sekon. Kemudian, diperlambat beraturan hingga dalam waktu 14 sekon mobil berhenti. Panjang lintasan yang ditempuh oleh sebuah titik pada ban mobil tersebut adalah . . .

A. 96 m
B. 100 m
C. 102 m
D. 106 m
E. 120 m

17. Sebuah benda kecil dengan massa 1 kg terikat pada ujung tali yang panjangnya 0,5 m. Tali diputar sehingga benda bergerak pada lintasan vertikal. Pada saat tali membentuk sudut 30° dengan arah vertikal seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



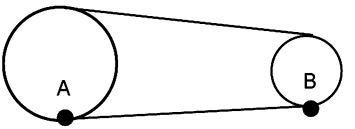
Jika laju benda 2 m/s, maka besar tegangan tali saat itu adalah . . .

A. 5 N
B. $5\sqrt{3}$ N
C. 13 N
D. $8 + 5\sqrt{3}$ N
E. $13\sqrt{3}$ N

18. Sebuah benda dengan massa 0,1 kg diikat dengan seutas tali yang panjangnya 1 m dan diputar dengan kecepatan tetap 2 m/s. Jika g = 10 m/s^2, maka besar tegangan yang dialami tali adalah . . .

A. 0,4 N
B. 0,5 N
C. 0,6 N
D. 0,8 N
E. 1,0 N

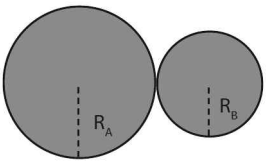
19. Dua buah roda dihubungkan oleh rantai seperti gambar berikut. Jari-jari roda A = 15 cm dan jari-jari roda B = 10 cm.



Bila kecepatan linier roda *A* 4 m/s, maka kecepatan roda *B* adalah . . .

A. 15 rad/s
B. 20 rad/s
C. 25 rad/s
D. 30 rad/s
E. 40 rad/s

20. Perhatikan gambar di bawah ini!



Kecepatan anguler roda A = 10 rad/s. Jika $R_A : R_B = 2 : 1$, maka kecepatan anguler roda B adalah . . .

A. 5 rad/s
B. 10 rad/s
C. 20 rad/s
D. 40 rad/s
E. 80 rad/s

21. Suatu titik melakukan gerak melingkar beraturan sehingga setiap 1 menit membuat 300 putaran. Jika jari-jari lintasannya 40 cm, maka percepatan sentripetalnya adalah . . .

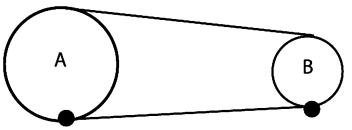
A. 4π m/s^2
B. $4\pi^2$ m/s^2
C. $40\pi^2$ m/s^2
D. $400\pi^2$ m/s^2
E. $4000\pi^2$ m/s^2

22. Benda yang bergerak melingkar beraturan mempunyai:
(1) Kelajuan konstan
(2) Percepatan linearnya konstan
(3) Kecepatan sudutnya konstan
(4) Percepatan sentripetalnya konstan

Pernyataan yang benar adalah . . .

A. (1), (2), dan (3)
B. (1) dan (3)
C. (2) dan (4)
D. (4) saja
E. (1), (2), (3), dan (4)

23. Dua buah roda dihubungkan dengan rantai seperti ditunjukkan gambar berikut.



Jari-jari roda A = 2 m dan roda B = 1,5 m. Jika roda berputar dengan kecepatan sudut 4,5 rad/s, maka kecepatan sudut roda B adalah . . .

A. 5 rad/s
B. 6 rad/s
C. 7 rad/s
D. 8 rad/s
E. 10 rad/s

24. Sebuah benda bergerak melingkar beraturan dengan jari-jari R. Jika energi kinetik benda tetap dan jari-jari lintasannya menjadi $2R$, maka gaya sentripetalnya menjadi . . .

A. ¼ kali semula
B. ½ kali semula
C. tetap
D. 2 kali semula
E. 4 kali semula

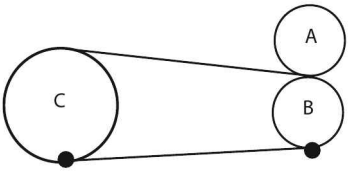
25. Dua buah roda A dan B saling bersinggungan . Jika kecepatan sudut roda B = 25 rad/s dan jari-jari roda A = ¼ × jari-jari roda B, maka kecepatan sudut roda A adalah . . .

A. 25 rad/s
B. 50 rad/s
C. 75 rad/s
D. 100 rad/s
E. 200 rad/s

26. Suatu partikel bergerak melingkar dipercepat beraturan dengan percepatan 2 rad/s^2. Jika kecepatan sudut awal partikel 30 rad/s, maka sudut yang ditempuh partikel setelah 5 sekon adalah . . .

A. 150 rad
B. 175 rad
C. 200 rad
D. 225 rad
E. 250 rad

27. Perhatikan gambar sistem tiga roda berikut.



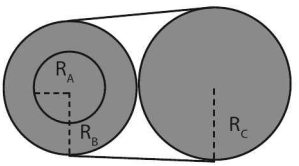
R_A = 4 cm, R_B = 2 cm, dan R_C = 6 cm. Perbandingan kecepatan sudut antara roda *A* dan *C* adalah . . .

A. 1 : 1
B. 2 : 3
C. 3 : 2
D. 4 : 2
E. 2 : 4

28. Sebuah satelit bumi bergerak mengorbit setinggi 3.600 km di atas permukaan bumi. Jika jari-jari bumi 6.400 km dan gerak satelit dianggap melingkar beraturan, maka kelajuan satelit tersebut adalah . . .

A. 6,4 km/s
B. 64 km/s
C. 640 km/s
D. 6.400 km/s
E. 64.000 km/s

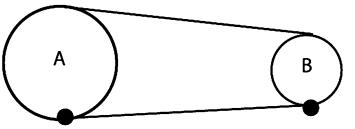
29. Perhatikan gambar berikut!



Dari sistem roda pada gambar di atas, diketahui jari-jari roda R_A = 5 cm, R_B = 20 cm, dan R_C = 25 cm. Jika roda *A* dan *B* menyatu, maka perbandingan kecepatan anguler roda *A* dan *C* adalah . . .

A. 5 : 1
B. 5 : 4
C. 4 : 5
D. 4 : 1
E. 1 : 5

30. Roda *A* dan roda *B* disusun seperti gambar berikut ini.



Jika jari-jari roda $R_B = 2 \times R_A$, maka perbandingan kecepatan sudut kedua, $\omega_A : \omega_B$ adalah . . .

A. 1 : 1
B. 1 : 2
C. 2 : 1
D. 1 : 4
E. 4 : 1

Fisika (bahasa Yunani: fysikós, "alamiah" atau fýsis, "alam") adalah ilmu tentang alam dalam makna yang terluas.

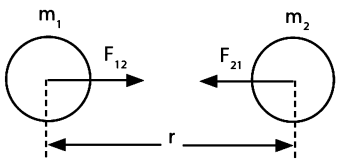
GRAVITASI NEWTON DAN ELASTISITAS

5

A. HUKUM GRAVITASI NEWTON

Hukum Gravitasi Newton menyatakan bahwa setiap benda memiliki gaya tarik yang sebanding dengan hasil kali massanya sendiri dengan massa benda lain pada jarak tertentu, dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak tersebut.

a. Gaya Gravitasi



Menurut Newton, gaya gravitasi antara dua benda merupakan gaya tarik-menarik yang berbanding lurus dengan massa setiap benda dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara benda tersebut.

Gaya gravitasi Newton berlaku untuk setiap benda

$$F_{12} = F_{21} = F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

dengan,

F = gaya gravitasi (N)

G = tetapan gravitasi ($6{,}672 \times 10^{-11}$ N.m^2/kg^2)

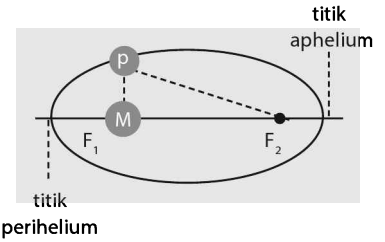
r = jarak antara pusat massa m_1 dan m_2 (m)
m_1, m_2 = massa benda 1 dan 2.

b. Medan Gravitasi

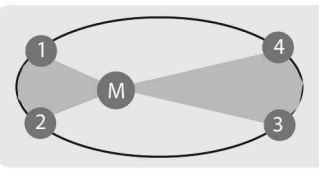
Kuat medan gravitasi (intensitas gravitasi) merupakan gaya gravitasi yang bekerja per satuan massa. Medan gravitasi adalah ruang di mana suatu benda mengalami pengaruh gaya gravitasi. Kuat medan gravitasi yang dirasakan benda bermassa m (disebut juga percepatan gravitasi) adalah:

$$g = \frac{F}{m} = G\frac{Mm}{r^2 m} = G\frac{M}{r^2}$$

B. HUKUM-HUKUM KEPLER



Hukum I Kepler berbunyi *"Setiap planet bergerak mengitari Matahari dengan lintasan berbentuk elips dan Matahari berada pada salah satu titik fokus elips".*



Hukum II Kepler berbunyi *"Suatu garis khayal yang menghubungkan Matahari dengan planet menyapu daerah yang luasnya sama dalam waktu yang sama".*
Secara matematis, dinyatakan:

$$\frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{GM} = c$$

dengan,
T = periode revolusi planet (s)
c = konstanta
R = jarak antara planet dengan matahari (m)
M = massa matahari (kg)
G = tetapan gravitasi ($6{,}672 \times 10^{-11}$ N.m^2/kg^2).

Berdasarkan hukum II Kepler, planet akan bergerak lebih cepat apabila dekat matahari dan bergerak lambat apabila berada jauh dari matahari.

Hukum III Kepler berbunyi *"Perbandingan kuadrat periode planet mengitari Matahari terhadap pangkat tiga jarak rata-rata planet ke Matahari adalah sama untuk semua planet".*
Secara matematis dituliskan:

$$\frac{T^2}{R^3} = c \quad \text{atau} \quad \frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{T_2^2}{R_2^3}$$

dengan,
T = kala revolusi planet (sekon atau tahun)
R = jarak planet ke Matahari (m atau tahun cahaya).
c = konstanta

C. ELASTISITAS

Elastisitas adalah kemampuan suatu benda untuk kembali ke bentuk awalnya segera setelah gaya luar yang diberikan kepada benda itu dihilangkan (dibebaskan).

a. Tegangan (Stress)

Tegangan (stress) adalah gaya oleh benda tersebut untuk mengembalikan dirinya ke bentuk aslinya per satuan luas.
Secara matematis, dinyatakan:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

dengan,

τ = tegangan (N/m^2)

F = gaya tekan/tarik (N)

A = luas penampang yang ditekan/ditarik (m^2)

b. Regangan

Regangan (strain) adalah perubahan ukuran sebuah benda karena gaya-gaya dalam kesetimbangan dibanding ukuran semula

$$\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell_0}$$

dengan,

ε = regangan

Δl = pertambahan panjang (m)

l_0 = panjang mula-mula (m)

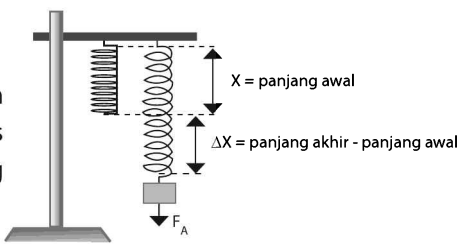
c. Modulus Young (Modulus Elastis)

Modulus elastis atau ***Modulus Young*** didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan dan regangan yang dialami oleh bahan elastis.

$$E = \frac{\tau}{\varepsilon} = \frac{F/A}{\Delta \ell / \ell_0} = \frac{F \ell_0}{A \Delta \ell}$$

d. Hukum Hooke

Sebuah pegas jika diregangkan dengan gaya tarik F akan membuat pegas itu bertambah panjang sebesar Δx.



Hukum Hooke berbunyi: *"Jika gaya tarik F tidak melampaui batas elastis pegas, maka pertambahan panjang pegas berbanding lurus (sebanding) dengan gaya tariknya".*

Secara matematis, dituliskan:

$$F = k\,\Delta x$$

dengan,
F = gaya tarik (N)
k = tetapan pegas (N/m)
Δx = pertambahan panjang (m)

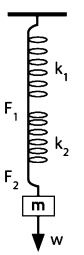
e. Energi Potensial Pegas

Energi potensial pegas merupakan usaha yang dilakukan gaya tarik pegas F newton selama memanjangnya pegas sejauh x meter. Secara matematis dituliskan:

$$Ep = \frac{1}{2}k\,(\Delta x)^2$$

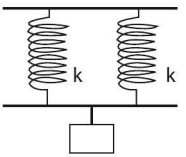
f. Susunan Pegas

Beberapa buah pegas dapat disusun secara seri, paralel ataupun gabungan keduanya.
Pegas susunan seri dapat ditunjukkan seperti gambar berikut.



- Gaya tarik yang dialami setiap pegas sama besar: $F_1 = F_2 = \ldots = F$
- Pertambahan panjang pegas pengganti seri: $\Delta x = \Delta x_1 + \Delta x_1 + \ldots$
- Tetapan pegas pengganti: $\frac{1}{k_s} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \ldots$

Pegas susunan paralel dapat ditunjukkan seperti gambar berikut.



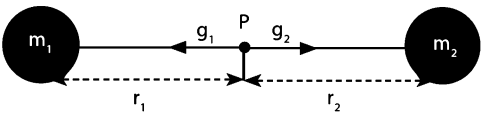
- Gaya tarik pada pegas pengganti: $F = F_1 + F_2 + \ldots$
- Pertambahan panjang tiap pegas sama besarnya: $\Delta x_1 = \Delta x_2 = \ldots = \Delta x$
- Tetapan pegas pengganti pararel: $k_P = k_1 + k_2 + \ldots$

CONTOH SOAL & PEMBAHASAN

1. Dua benda bermassa masing-masing 4 kg dan 9 kg terpisah dengan jarak 10 m. Titik P berada pada garis hubung kedua benda. Jika medan gravitasi di titik P adalah nol, maka jarak titik P dari benda bermassa 4 kg adalah . . .

   A. 5 m
   B. 4 m
   C. 3 m
   D. 2 m
   E. 1 m

   Jawaban: B



- massa benda pertama, $m_1 = 4$ kg
- massa benda kedua, $m_2 = 9$ kg
- jarak antarpartikel, $r = 10$ m

Agar medan gravitasi di titik P sama dengan nol, maka:

$$g_1 = g_2$$

$$G\frac{m_1}{r_1^2} = G\frac{m_2}{r_2^2}$$

$$r_1^2 = \frac{m_1}{m_2} r_2^2$$

$$r_1^2 = \frac{4}{9}(10 - r_1)^2$$

$$r_1 = \frac{2}{3}(10 - r_1)$$
$$3r_1 = 20 - 2r_1$$
$$5r_1 = 20$$
$$r_1 = 4 \text{ m.}$$

Jadi, agar medan gravitasi di titik P sama dengan nol, maka titik P harus berjarak 4 m dari massa 4 kg.

2. Kuat medan gravitasi di suatu titik di luar Bumi yang berada sejauh x dari pusat Bumi adalah 5 N/kg. Jika kuat medan gravitasi di permukaan bumi adalah 10 N/kg, maka besar jari-jari Bumi adalah . . . .

A. $\frac{1}{4}x$
B. $\frac{1}{2}x$
C. $\frac{1}{2}x\sqrt{2}$
D. $x\sqrt{2}$
E. $2x$

Jawaban: C

- kuat medan gravitasi suatu tempat, $g_1 = 5$ N/kg
- jarak titik dari pusat Bumi, $r = x$
- kuat medan gravitasi Bumi, $g_2 = 10$ N/kg

Besar jari-jari Bumi dapat ditentukan sebagai berikut.

$$\frac{g_1}{g_2} = \frac{G\frac{M}{r_1^2}}{G\frac{M}{r_2^2}}$$
$$\frac{g_1}{g_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$
$$r_2 = \sqrt{\frac{g_1}{g_2}} \cdot r_1$$

$$= \sqrt{\frac{5}{10}} \cdot x$$

$$= \frac{1}{2} x\sqrt{2}$$

3. Sebuah benda beratnya di permukaan Bumi 10 N. Benda itu dibawa ke suatu planet yang massanya 5 kali massa Bumi, dan jari-jarinya 2 kali jari-jari Bumi. Berat benda di planet tersebut sebesar . . .
   A. 8 N
   B. 10 N
   C. 12,5 N
   D. 25 N
   E. 50 N

   Jawaban: C

   - berat benda di permukaan bumi, $w_b = 10$ N
   - massa planet, $m_p = 5$ mB
   - jari-jari planet, $r_p = 2\ r_B$

   Berat benda di permukaan Bumi 10 N, maka berlaku:

   $w_b = m\ g_b$
   $10\ N = m\ g_B$ . . . (i)
   Berat benda di planet adalah:
   $w_b = m\ g_p$

   $$= m\ G\frac{m_p}{r_p^{\ 2}}$$

   $$= m\ G\frac{(5m_B)}{(2r_B)^2}$$

   $$= \frac{5}{4} m\ G\frac{m_B}{r_B^{\ 2}}$$

   $$= \frac{5}{4} m\ g_b \quad ..(ii)$$

Substitusi persamaan (i) ke persamaan (ii), diperoleh:

$$W_p = \frac{5}{4} \times (10\text{N})$$

$$= 12{,}5\ \text{N}$$

Jadi, berat benda di planet tersebut adalah 12,5 N.

4. Percepatan gravitasi di permukaan Bumi yang bermassa M dan berjari-jari R besarnya sama dengan g. Percepatan gravitasi di planet P yang memiliki massa 3 kali massa Bumi dan berjari-jari 2 kali jari-jari Bumi adalah . . .

A. 2 g
B. 1,5 g
C. 1 g
D. 0,75 g
E. 0,5 g

Jawaban: D

- jari-jari Bumi = R
- massa Bumi = M
- percepatan gravitasi di permukaan Bumi = g
- massa planet, $m_P = 3M$
- jari-jari planet, $r_P = 2R$

Percepatan gravitasi di planet tersebut dapat ditentukan sebagai berikut.

$$\frac{g_p}{g} = \frac{G\frac{m_P}{r_P^2}}{G\frac{M}{R^2}}$$

$$\frac{g_p}{g} = \frac{G\frac{3M}{(2R)^2}}{G\frac{M}{R^2}}$$

$$\frac{g_p}{g} = \frac{G\frac{3M}{4R^2}}{G\frac{M}{R^2}}$$

$$\frac{g_p}{g} = \frac{3}{4}$$

$$g_p = \frac{3}{4}\, g$$

$$g_p = 0{,}75\ g$$

5. Sebuah satelit komunikasi di permukaan Bumi yang jari-jarinya R memiliki berat 3600 N. Jika satelit tersebut diletakkan pada ketinggian 2R dari permukaan Bumi maka beratnya menjadi . . .

A. 500 N
B. 450 N
C. 400 N
D. 350 N
E. 300 N

Jawaban: C

- jari-jari Bumi = R
- berat satelit di permukaan bumi, w_s = 3600 N

Berat satelit di permukaan bumi:

$w_s = m_s g$

Berat satelit jika diletakkan pada ketinggian 2R (h = 2R) adalah:

$w_s' = m_s g'$

$$= m_s G \frac{M}{r^2}$$

$$= m_s G \frac{M}{(R+h)^2}$$

$$= m_s G \frac{M}{(R+2R)^2}$$

$$= \frac{1}{9} m_s G \frac{M}{R^2} \rightarrow \text{kuat / percepatan gravitasi di permukaan Bumi : } g = G\frac{M}{R^2}$$

$$= \frac{1}{9} m_s g$$

$$= \frac{1}{9} w_s$$

$$= \frac{1}{9} \times (3600\text{N})$$
$$= 400 \text{ N.}$$

6. Andaikata Bumi menyusut hingga setengah dari semula, tetapi massanya tetap, maka massa benda-benda yang ada di permukaan Bumi adalah . . .
   A. empat kali semula
   B. dua kali semula
   C. tetap
   D. setengah kali semula
   E. seperempat kali semula

   Jawaban: C

   - massa Bumi sebelum menyusut = M
   - jari-jari bumi sebelum menyusut = r
   - massa Bumi setelah menyusut = M
   - jari-jari Bumi setelah menyusut $r_s = ½ r$

   Kuat medan gravitasi bumi sebelum menyusut adalah

   $$g = G\frac{M}{r^2}$$

   Massa benda m yang berada di permukaan bumi sebelum menyusut, beratnya adalah:
   $w_b = m\ g$

   Kuat medan gravitasi bumi setelah menyusut adalah:

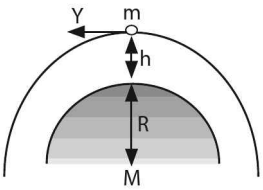
   $$g = G\frac{M}{r^2}$$
   $$= G\frac{M}{\left(\frac{1}{2}r\right)^2}$$
   $$= 4\ G\frac{M}{r^2}$$
   $$= 4\ g$$

Massa benda m yang berada di permukaan bumi setelah menyusut adalah:

$w_{bs} = m\, g_s$
$= 4mg$
$= 4 \times w_b$

Dari perhitungan di atas, terlihat bahwa massa benda yang berada di permukaan Bumi sebelum dan setelah menyusut tidak mengalami perubahan. Berbeda halnya dengan berat benda yang setelah Bumi mengalami penyusutan menjadi 4 kali berat benda sebelum Bumi menyusut.

7. Sebuah satelit buatan mengorbit setinggi 3.600 km di atas permukaan bumi. Jika jari-jari bumi kira-kira 6.400 km dan gerak satelit dianggap melingkar beraturan, maka kelajuan satelit (dinyatakan dalam km/s) adalah ....



A. 6,4
B. 64
C. 640
D. 6400
E. 64000

Jawaban: A

- posisi satelit, h = 3.600 km
- jari-jari bumi, R = 6.400 km
- percepatan gravitasi bumi, g = 10 m/s^2 = 10^{-2} km/s^2.
- satelit mengalami gerak melingkar beraturan

Gaya gravitasi pada satelit yang diakibatkan oleh adanya medan gravitasi bumi menyebabkan satelit tersebut bergerak melingkar sehingga berlaku hukum Newton I. Hukum Newton I ini secara matematis mengakibatkan gaya gravitasi memiliki besar yang sama dengan gaya sentripetal. Hal ini dapat direpresentasikan melalui persamaan berikut ini.

$$F_G = F_S$$

$$m\frac{GM}{(R+h)^2} = m\frac{v^2}{R+h}$$

$$v^2 = \frac{GM}{R+h}$$

$$= \frac{GM}{R^2}\cdot\frac{R^2}{(R+h)}$$

$$= g\frac{R^2}{(R+h)}$$

$$v = \sqrt{\frac{gR^2}{(R+h)}}$$

$$= \sqrt{\frac{(10^{-2})(6.400)^2}{6.400+3.600}}$$

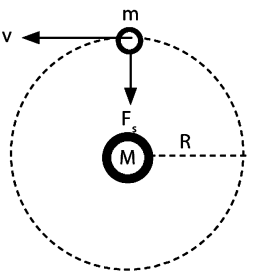
$$= 6,4 \text{ km/s}$$

8. Bulan yang merupakan satelit bumi berevolusi mengitari bumi dengan jari-jari orbit R dan periode T. Apabila konstanta gravitasi umum dinyatakan G, rumusan yang tepat untuk memperkirakan massa bumi M adalah . . .
   A. $M = 4\pi R/GT$
   B. $M = 4\pi R^2/GT$
   C. $M = 4\pi R^2/GT^2$
   D. $M = 4\pi^2 R^3/GT^2$
   E. $M = 4\pi^3 R^3/GT^2$

   Jawaban: D

   - jari-jari orbit bulan = R
   - periode putaran = T
   - konstanta gravitasi umum = G

Gerak bulan mengitari bumi akibat gaya gravitasi merupakan gaya sentripetal, sehingga berlaku:



$$m\frac{v^2}{R} = G\frac{m \cdot M}{R^2}$$

$$m\ \omega^2 R = G\frac{mM}{R^2}$$

$$\omega^2 R = G\frac{M}{R^2}$$

$$M = \frac{\omega^2 R^3}{G}$$

$$M = \frac{\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 R^3}{G}$$

$$M = \frac{4\pi^2 R^3}{GT^2}$$

9. Rayza bermassa 50 kg menggantung pada sebuah pegas yang memiliki konstanta pegas sebesar 20000 N/m. Pegas tersebut akan bertambah panjang sebesar . . .

A. 2,0 cm
B. 2,5 cm
C. 4,0 cm
D. 5,0 cm
E. 6,5 cm

Jawaban: B

- massa beban, m = 50 kg
- konstanta pegas, k = 20000 N/m

Pertambahan pegas akibat berat beban adalah:

$$\Delta x = \frac{F}{k} = \frac{mg}{k} = \frac{(50\text{kg})(10\text{m/s}^2)}{20000\text{N/m}}$$

$$= \frac{500}{20000}\ \text{m}$$

$$= 0{,}025\ \text{m}$$

$$= 2{,}5\ \text{cm}$$

10. Dua pegas identik masing-masing konstantanya 1000 N/m tersusun secara paralel. Jika pada sistem pegas tersebut diberi beban 5 kg, maka susunan pegas memiliki energi potensial sebesar . . .

A. $1{,}56 \times 10^{-3}$ J
B. $3{,}13 \times 10^{-3}$ J
C. $1{,}25 \times 10^{-1}$ J
D. $6{,}25 \times 10^{-1}$ J
E. $3{,}15 \times 10^{1}$ J

Jawaban: D

- Dua pegas konstanta sama, $k_1 = k_2 = 1000$ N/m
- susunan pararel
- massa beban, m = 5 kg

Konstanta pegas yang tersusun pararel adalah

$$k_p = k_1 + k_2$$
$$= 1000 \text{ N/m} + 1000 \text{ N/m}$$
$$= 2000 \text{ N/m}$$

Pertambahan panjang sistem pegas akibat beban adalah:

$$\Delta x = \frac{F}{k}$$
$$= \frac{(5\text{kg})(10\text{m/s}^2)}{2000\text{N/m}}$$
$$= 0{,}025 \text{ m}$$

Energi potensial susunan pegas adalah:

$$Ep = \frac{1}{2}kx^2$$
$$= \frac{1}{2}(2000\text{N/m})(0{,}025\text{m})^2$$
$$= 6{,}25 \text{ x } 10^{-1} \text{ J}$$

LATIHAN SOAL 5

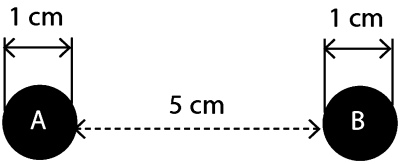
1. Dua benda dengan massa masing-masing m_1 dan m_2 berjarak 5 cm antara satu dengan lainnya. Kemudian jarak kedua benda tersebut diubah menjadi 10 cm. Perbandingan gaya gravitasi kedua benda tersebut pada saat keadaan awal dengan akhir adalah . . .
   A. 1 : 2
   B. 2 : 1
   C. 1 : 5
   D. 1 : 4
   E. 4 : 1

2. Besar gaya gravitasi dinyatakan dengan $F = G\frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$.

   Dimensi untuk tetapan gravitasi umum adalah . . .
   A. $[M]\,[L]^2\,[T]^{-2}$
   B. $[M]^3\,[L]^2\,[T]^{-2}$
   C. $[M]^{-1}\,[L]^3\,[T]^{-2}$
   D. $[M]^2\,[L]^3\,[T]^{-2}$
   E. $[M]^{-3}\,[L]^3\,[T]^{-2}$

3. Benda *A* bermassa 2 kg berada pada jarak 5 m dari benda *B* yang massanya 4,5 kg. Sedangkan benda *C* bermassa 3 kg berada di antara benda *A* dan *B*. Jika gaya gravitasi benda *C* sama dengan nol, maka jarak antara benda *A* dan *C* adalah . . .
   A. 1,0 m
   B. 2,0 m
   C. 2,5 m
   D. 3,0 m
   E. 4,5 m

4. Dua bola A dan B memiliki massa dan garis tengah yang sama, seperti ditunjukkan gambar berikut.



Jika kuat medan gravitasi di suatu titik sama dengan nol, maka jarak titik tersebut dari kulit bola *A* adalah . . .

A. 1,0 m
B. 1,5 m
C. 2,0 m
D. 2,5 m
E. 3,0 m

5. Percepatan gravitasi rata-rata di permukaan bumi sama dengan *a*. Untuk tempat di ketinggian *R* (*R* = jari-jari bumi) dari permukaan bumi, memiliki percepatan gravitasi sebesar . . .

A. 0,125 *a*
B. 0,250 *a*
C. 0,500 *a*
D. 1,000 *a*
E. 4,000 *a*

6. Diketahui kedudukan benda *A* adalah ½ *R* di atas permukaan bumi dan kedudukan *B* adalah 2*R* di atas permukaan bumi (*R* = jari-jari bumi). Perbandingan kuat medan gravitasi yang dialami oleh benda *A* dan *B* adalah . . .

A. 1 : 8
B. 1 : 4
C. 2 : 3
D. 4 : 1
E. 8 : 1

7. Perbandingan massa planet A dan B adalah 2 : 3 dan perbandingan jari-jari planet A dan B adalah 1 : 2. Jika berat benda di planet A adalah W, maka berat benda tersebut di planet B adalah . . .

A. $\frac{3}{8}$W
B. $\frac{3}{4}$W
C. $\frac{1}{2}$W
D. $\frac{4}{3}$W
E. $\frac{8}{3}$W

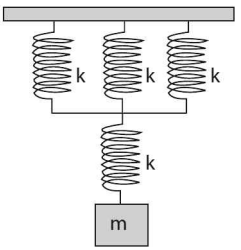
8. Sebuah pegas tergantung tanpa beban panjangnya 30 cm. Ujung bawah pegas digantungi beban 100 gram sehingga panjang pegas menjadi 35 cm. Jika beban tersebut ditarik ke bawah sejauh 5 cm, dan percepatan gravitasi bumi 10 m/s^2, maka energi potensial elastis pegas adalah . . .

A. 0,025 J
B. 0,05 J
C. 0,1 J
D. 0,25 J
E. 0,5 J

9. Tabel berikut merupakan hasil percobaan penentuan elastisitas karet dengan menggunakan karet ban. Dari data tabel dapat disimpulkan nilai konstanta terbesar berada pada percobaan . .

No.	Gaya Tarik (N)	Pertambahan panjang (m)
A.	7	$3{,}5 \times 10^{-2}$
B.	8	$2{,}5 \times 10^{-2}$
C.	6	$2{,}0 \times 10^{-2}$
D.	9	$4{,}5 \times 10^{-2}$
E.	10	$3{,}3 \times 10^{-2}$

10. Empat buah pegas identik disusun seri-pararel seperti ditunjukkan gambar berikut.



Beban W yang digantung menyebabkan sistem pegas mengalami pertambahan panjang secara keseluruhan sebesar 5 cm. Jika pegas-pegas tersebut masing-masing mempunyai konstanta elastisitas 1.600 N/m, maka berat beban W adalah . . .

A. 60 N
B. 120 N
C. 300 N
D. 450 N
E. 600 N

11. Sebuah balok bermassa m menumbuk pegas horizontal (konstanta pegas k). Akibat tumbukan ini, pegas tertekan maksimal sejauh x_0 dari posisi normalnya. Bila koefisien gesek μ bekerja antara balok dan lantai, percepatan gravitasi bumi g, maka laju balok saat mulai tumbukan adalah . . .

A. $v = \sqrt{x_0}\left(2\mu g + \frac{k}{m}x_0\right)^{\frac{1}{2}}$

B. $v = \left(2\mu g + \frac{k}{m}x_0\right)^{\frac{1}{2}}$

C. $v = x_0\left(2\mu g + \frac{k}{m}x_0\right)$

D. $v = \sqrt{x_0}\left(2\mu g + \frac{k}{m}x_0\right)$

E. $v = x_0\left(2\mu g + \frac{k}{m}x_0\right)^{\frac{1}{2}}$

12. Untuk meregangkan sebuah pegas sebesar 4 cm diperlukan usaha sebesar 0,16 J. Untuk meregangkan pegas itu sebesar 2 cm diperlukan gaya sebesar . . .

A. 0,8 N
B. 1,6 N
C. 2,4 N
D. 3,2 N
E. 4,0 N

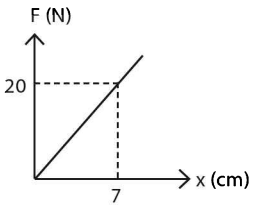
13. Sebuah pegas tergantung tanpa beban memiliki panjang awal sebesar 30 cm. Ketika ujung bawah pegas digantung beban 100 gram, panjang pegas menjadi 35 cm. Jika beban tersebut ditarik ke bawah sejauh 5 cm, dan percepatan gravitasi bumi 10 m/s², maka energi potensial elastik pegas adalah . . .

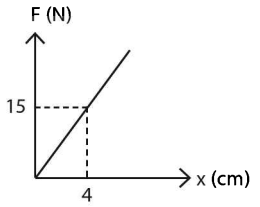
A. 0,025 J
B. 0,05 J
C. 0,1 J
D. 0,25 J
E. 0,5 J

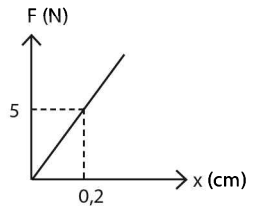
14. Satelit *A* dan *B* mempunyai massa yang sama mengelilingi bumi dengan orbit berbentuk lingkaran. Satelit *A* berada pada ketinggian orbit *R* dan satelit *B* berada pada 2*R* di atas permukaan bumi. Maka perbandingan energi potensial satelit *A* dan *B* adalah . . .

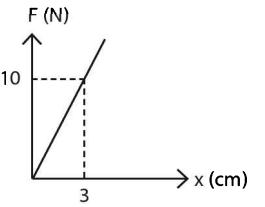
A. 1 : 2
B. 2 : 1
C. 3 : 1
D. 2 : 3
E. 3 : 2

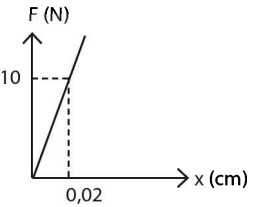
15. Dari grafik hubungan antara F dengan pertambahan panjang Δx berikut ini, yang mempunyai elastisitas terkecil adalah . . .

A.


B.


C.


D.


E.


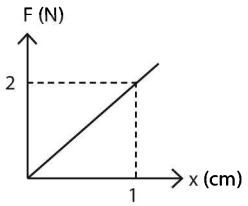
16. Untuk meregangkan sebuah pegas sejauh 5 cm diperlukan gaya sebesar 20 N. Energi potensial pada pegas tersebut ketika meregang sejauh 10 cm adalah . . .

A. 2 J
B. 4 J
C. 20 J
D. 50 J
E. 100 J

17. Sebuah pegas panjangnya 20 cm ditarik dengan gaya 10 N menyebabkan panjang pegas menjadi 22 cm. Bila pegas tersebut ditarik dengan gaya F sehingga panjang pegas menjadi 23 cm, maka besar gaya F sama dengan . . .

A. 22 N
B. 20 N
C. 17 N
D. 15 N
E. 12 N

17. Grafik di bawah ini menunjukkan hubungan gaya F terhadap pertambahan panjang pegas x.



Jika pegas disimpangkan 8 cm, maka energi potensial pegas tersebut menjadi . . .

A. $1{,}6 \times 10^{-5}$ J
B. $6{,}4 \times 10^{-4}$ J
C. 8 J
D. 16 J
E. 128 J

18. Dua buah planet *A* dan *B* mengorbit mengitari matahari. Perbandingan jarak antara planet *A* dan *B* ke matahari adalah 1 : 4 . Apabila perioda planet *A* mengelilingi matahari adalah 88 hari, maka periode planet *B* mengelilingi matahari adalah . . .

A. 324 hari
B. 525 hari
C. 677 hari
D. 704 hari
E. 988 hari

19. Sebuah pistol mainan bekerja menggunakan pegas untuk melontarkan pelurunya. Pistol yang sudah dalam keadaan terkokang (pegas tertekan sejauh x) diarahkan dengan membuat sudut elavasi θ terhadap horizontal. Peluru yang terlepas dapat mencapai ketinggian h. Jika massa peluru adalah m dan percepatan gravitasi adalah g, maka konstanta pegas adalah . . .

A. $k = \dfrac{2mgh}{x^2 \cos^2 \theta}$
B. $k = \dfrac{2mgh}{x^2 \sin^2 \theta}$
C. $k = \dfrac{mgh}{x^2 \cos^2 \theta}$
D. $k = \dfrac{mgh}{x^2 \sin^2 \theta}$
E. $k = \dfrac{mgh}{x^2 \tan^2 \theta}$

20. Sebuah satelit komunikasi mempunyai berat W ketika berada di permukaan bumi. Jika jari-jari lintasan orbit satelit sebesar tiga kali jari-jari bumi, maka gaya gravitasi bumi yang akan menarik satelit sebesar . . .

A. 9 W
B. $\frac{1}{2}$W
C. $\frac{1}{3}$W
D. $\frac{1}{4}$W
E. $\frac{1}{9}$W

21. Satu planet *X* mempunyai massa *a* kali massa bumi dan jari-jari *b* kali jari-jari bumi. Perbandingan berat suatu benda di planet *X* dengan di bumi menjadi . . .

A. a × b kali
B. a × b^2 kali
C. a/b kali
D. a/b^2 kali
E. $(ab)^{-1}$ kali

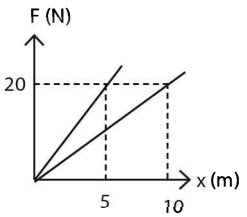
22. Sebuah pegas yang panjangnya 15 cm diregangkan oleh gaya 0,5 N sehingga panjang pegas menjadi 27 cm. Jika pegas tersebut diregangkan dengan gaya 0,6 N, maka panjang pegasnya menjadi . . .

A. 20,5 cm
B. 28,6 cm
C. 29,4 cm
D. 30,7 cm
E. 33,2 cm

23. Sebuah benda di bumi beratnya W_1 dan berat di suatu planet adalah W_2. Jika massa planet tiga kali massa bumi dan jari-jari planet dua kali jari-jari bumi, maka perbandingan berat benda di bumi dengan di planet adalah . . .

A. 3 : 4
B. 4 : 3
C. 2 : 1
D. 1 : 2
E. 3 : 2

24. Grafik hubungan gaya *F* terhadap pertambahan panjang *x* dari pegas *A* dan *B* seperti ditunjukkan gambar berikut.



Dari grafik di atas, diperoleh:

A. Konstanta A < kontanta B
B. Konstanta A = 2 × kontanta B
C. Konstanta A = 4 × kontanta B
D. Konstanta A = ½ × kontanta B
E. Konstanta A = 4 × kontanta B

25. Sebuah benda yang diletakkan di permukaan bumi yang berjari-jari *R* memiliki berat sebesar 360 N. Jika benda diletakkan pada ketinggian 2*R* dari permukaan bumi, maka berat benda menjadi . . .

A. 40 N
B. 90 N
C. 120 N
D. 180 N
E. 360 N

26. Jika berat benda di permukaan bumi w, maka berat benda itu di luar bumi yang jauhnya 3R (R = jari-jari bumi) dari pusat bumi adalah . . ..

A. w
B. $\frac{1}{3}$w
C. $\frac{1}{4}$w
D. $\frac{1}{6}$w
E. $\frac{1}{9}$w

27. Sebuah roket yang beratnya *W* diluncurkan vertikal ke atas dari permukaan bumi. Jika diameter bumi adalah *D*, maka berat roket saat berada pada ketinggian 0,5*D* dari permukaan bumi adalah . . .

A. 4*W*
B. 2*W*
C. *W*
D. 0,5*W*
E. 0,25*W*

28. Untuk meregangkan sebuah pegas sebesar 4 cm diperlukan usaha sebesar 0,16 J. Untuk meregangkan pegas itu sebesar 2 cm diperlukan gaya sebesar . . .
    A. 0,8 N
    B. 1,6 N
    C. 2,4 N
    D. 3,2 N
    E. 4,0 N

29. Suatu pegas mempunyai konstanta sebesar 100 N/m. Saat simpangannya 5 cm, pegas tersebut mempunyai energi potensial sebesar . . .
    A. 1/8 J
    B. 0,1 J
    C. 0,2 J
    D. 2,5 J
    E. 5,0 J

30. Dua kawat *A* dan *B* sama panjang dengan perbandingan diameter 1 : 2. Masing-masing kawat ditarik oleh gaya *F*, sehingga mengalami pertambahan panjang dengan perbandingan 3 : 1. Modulus Young kawat *A* dibanding kawat *B* adalah . . .
    A. 4 : 3
    B. 3 : 4
    C. 3 : 1
    D. 2 : 1
    E. 1 : 2

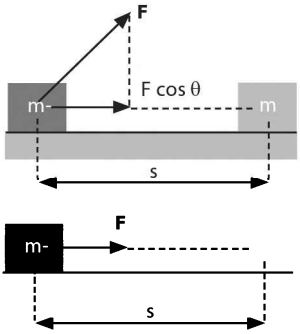
Fisika (bahasa Yunani: fysikós, "alamiah" atau fýsis, "alam") adalah ilmu tentang alam dalam makna yang terluas.

USAHA DAN ENERGI

6

A. USAHA OLEH GAYA KONSTAN

Usaha (W) adalah energi yang dipindahkan dari/ke benda. Usaha dapat didefinisikan secara matematis sebagai hasil perkalian komponen gaya (yang segaris dengan perpindahan) dengan besar perpindahan.



Usaha yang dilakukan oleh gaya pada gambar di samping dinyatakan dengan:

$$W = \vec{F} \cdot \vec{s} = F\, s \cos\theta$$

dengan F = konstan

Usaha yang dilakukan oleh gaya pada gambar di samping dinyatakan:

$$W = F\, s$$

dengan,

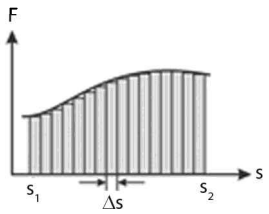
W = Usaha (joule atau J)

F = Gaya (newton atau N)

s = Besarnya perpindahan (meter atau m)

θ = sudut antara pergeseran dan arah gaya

B. USAHA DARI BEBERAPA GAYA YANG TIDAK KONSTAN



Usaha total pada grafik adalah penjumlahan setiap usaha dari posisi s_1 sampai dengan posisi s_2. Secara matematis dapat dirumuskan:

$$W_{total} = \lim_{\Delta s \to 0} \sum_{s_1}^{s_2} F \cdot \Delta s = \int_{s_1}^{s_2} F \, ds$$

Integral dari perumusan di atas adalah luas daerah yang diarsir diantara kurva besar gaya (F) dan besar perpindahan (s).

C. ENERGI KINETIK

Energi kinetik merupakan energi yang dimiliki oleh suatu benda yang sedang bergerak dengan kecepatan tertentu.

$$Ek = \tfrac{1}{2} m v^2$$

dengan,
Ek = energi kinetik (J)
m = massa benda (kg)
v = kelajuan benda (m/s)

Hubungan antara energi kinetik dengan usaha yang dilakukan oleh gaya dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$W = F \cdot s \qquad \rightarrow F = m \cdot a$$
$$W = m \cdot a \cdot s \qquad \rightarrow v_t^2 = v_0^2 + 2\,a \cdot s$$
$$W = m \cdot \tfrac{1}{2}(v_t^2 - v_0^2)$$
$$W = \tfrac{1}{2} m \cdot \left(v_t^2 - v_0^2\right)$$
$$W = \Delta Ek$$

Jadi, usaha merupakan perubahan energi kinetik akibat perubahan gerak suatu benda.

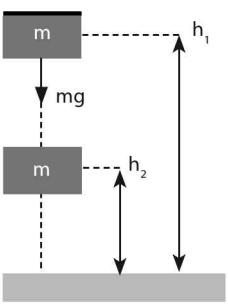
D. ENERGI POTENSIAL

Energi potensial merupakan energi yang dimiliki oleh suatu benda akibat perubahan kedudukannya sehingga benda tersebut melakukan suatu usaha. Jika benda berada pada ketinggian tertentu, maka benda tersebut dipengaruhi oleh percepatan gravitasi. Dengan demikian benda tersebut mempunyai energi potensial gravitasi.

$$Ep = m \cdot g \cdot h = w \cdot h$$

dengan,
Ep = energi potensial gravitasi (J)
m = massa benda (kg)
g = percepatan gravitasi (m/s^2)
w = berat benda (N)
h = kedudukan/ketinggian benda (m)

Hubungan antara usaha dengan energi potensial yang oleh gaya dapat dirumuskan sebagai berikut.



Sebuah benda bermassa m mula-mula berada pada kedudukan h_1, kemudian jatuh hingga kedudukan h_2, maka besarnya usaha yang dilakukan pada benda adalah:

$$W = F \cdot s$$
$$W = m \cdot g\,(h_1 - h_2)$$
$$W = mgh_1 - mgh_2$$
$$W = \Delta Ep$$

Jadi, usaha merupakan perubahan energi potensial akibat perubahan kedudukan/posisi/ketinggian benda.

E. HUKUM KEKEKALAN ENERGI MEKANIK

Hukum kekekalan energi mekanik menyatakan:
"Jika pada suatu sistem hanya bekerja gaya-gaya dalam yang bersifat konservatif, maka energi mekanik sitem pada posisi apa saja selalu teap (kekal). Hal ini berarti energi mekanik sistem pada posisi akhir sama dengan energi mekanik pada posisi awal."

$$EM_1 = EM_2$$
$$Ep_1 + Ek_1 = Ep_2 + Ek_2$$
$$mgh_1 + ½\ m\ v_1^2 = mgh_2 + ½\ m\ v_2^2$$

Contoh gaya konservatif adalah gaya gravitasi konstan, gaya gravitasi Newton, dan gaya pegas. Pada sebuah benda yang jatuh bebas terjadi perubahan energi, yaitu perubahan energi potensial menjadi energi kinetik.

F. DAYA

Daya merupakan usaha yang dilakukan oleh suatu benda tiap satuan waktu. Daya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fs}{t} = F\ v$$

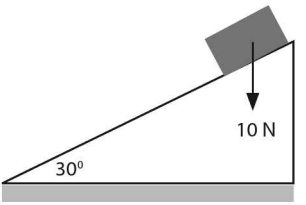
dengan,
P = daya (J/s atau watt)
W = usaha (J)
t = waktu (s)
F = gaya (N)
v = kelajuan benda (m/s)

Kemampuan mesin biasanya dinyatakan dalam satuan *horse power* (hp). Relasi Antara hp dengan watt adalah sebagai berikut:

- 1 hp = 746 watt = 0,746 kW
- 1 kWh = 1 (kW) (1 jam) = $3,6 \times 10^6$ J.

CONTOH SOAL DAN PEMBAHASAN

1. Perhatikan gambar berikut!

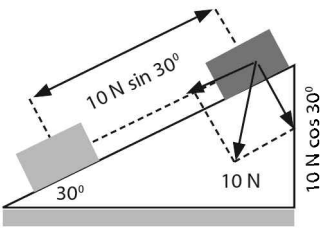


Benda seberat 10 N berada pada bidang miring yang licin, dengan sudut kemiringan 30°. Jika benda meluncur sejauh 1 m, maka usaha yang dilakukan oleh gaya berat adalah . . .

A. 10 sin 30° J
B. 10 cos 30°J
C. 10 sin 60° J
D. 10 tan 30° J
E. 10 tan 60° J

Jawaban: A

Pergeseran benda, s = 1 m



Usaha yang dilakukan oleh gaya berat adalah besarnya usaha yang hanya dilakukan oleh komponen gaya berat searah pergeseran, yaitu:

$W = F \cdot s$
$W = (10 \text{ N} \sin 30°)\ (1 \text{ m})$
$W = 10 \sin 30° \text{ Nm}$
$W = 10 \sin 30° \text{ J}.$

2. Sebuah gaya $\vec{F} = \left(2\hat{i} + 3\hat{j}\right)$N melakukan usaha dengan titik tangkapnya berpindah menurut $\vec{r} = \left(4\hat{i} + a\hat{j}\right)$m di mana vektor $\hat{i}$ dan $\hat{j}$ berturut-turut adalah vektor satuan yang searah dengan sumbu x dan sumbu y pada koordinat Cartesian. Bila usaha itu bernilai 26 J, maka nilai a sama dengan . . .

A. 5
B. 6
C. 7
D. 8
E. 12

Jawaban: B

- vektor gaya, $\vec{F} = \left(2\hat{i} + 3\hat{j} \right) N$
- pergeseran titik, $\vec{r} = \left(4\hat{i} + a\hat{j} \right) m$
- usaha yang dilakukan, W = 26 J

Usaha yang dilakukan oleh vektor gaya tersebut adalah :

$W = \vec{F} \cdot \vec{r}$

$W = (2\hat{i} \cdot 3\hat{j})N \cdot (4\hat{i} + a\hat{j})N$

$26 = (2\hat{i} \cdot 4\hat{i}) + (3\hat{i} \cdot a\hat{i}) + (2\hat{i} \cdot a\hat{j}) + (3\hat{i} \cdot a\hat{j}) \rightarrow (\text{ingat} : \hat{i} \cdot \hat{j} = 0, \text{sebab} \hat{i} \perp \hat{j})$

26 = 8 + 3a + 0 + 0
3a = 26 – 8
3a = 18
a = 18 : 3
a = 6.

3. Sebuah pesawat terbang mempunyai massa 10^5 kg. Mesinnya mampu menghasilkan gaya 2×10^5 N. Pesawat tersebut bergerak dari keadaan diam dan untuk lepas landas diperlukan laju 10^2 m/s. Panjang lintasan minimum yang diperlukan agar pesawat tersebut lepas landas adalah...
A. 1500 m
B. 2500 m
C. 3500 m
D. 4500 m
E. 5500 m

Jawaban: B

- massa pesawat, m = 10^5 kg
- gaya yang dihasilkan mesin pesawat, F = 2×10^5 N

- kecepatan pesawat awal, $v_1 = 0$ m/s
- kecepatan pesawa saat lepas landas, $v_2 = 10^2$ m/s

Panjang lintasan yang dibutuhkan pesawat untuk lepas landas dapat ditentukan sebagai berikut:

$W = \Delta Ek$

$W = Ek_2 - Ek_1$

$F \cdot s = \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2)$

$(2 \times 10^5 \text{ N}) \times s = \frac{1}{2} \times (10^5 \text{ kg}) \times ((10^2 \text{ m/s})^2 - 0^2))$

$(2 \times 10^5 \text{ N}) \times s = \frac{1}{2} \times (10^5 \text{ kg}) \times (10^4 \text{ m}^2/\text{s}^2)$

$(2 \times 10^5 \text{ N}) \times s = \frac{1}{2} \times (10^9 \text{ J})$

$(2 \times 10^5 \text{ N}) \times s = 5 \times 10^8 \text{ J}$

$\Leftrightarrow s = (5 \times 10^8 \text{ J}) : (2 \times 10^5 \text{ N})$

$\Leftrightarrow s = 2{,}5 \times 10^3 \text{ m}$

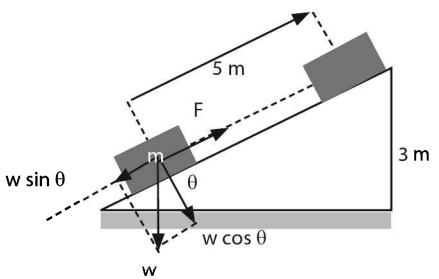
$\Leftrightarrow s = 2.500 \text{ m}$

4. Sebuah balok 10 kg didorong dari dasar suatu bidang miring yang panjangnya 5 meter dan puncak bidang miring berada 3 m dari tanah. Jika bidang miring dianggap licin, dan percepatan gravitasi bumi = 10 m/s^2, usaha yang harus dilakukan untuk mendorong balok adalah . . .

A. 300 J
B. 1500 J
C. 3500 J
D. 80 J
E. 25 J

Jawaban: A

Sketsa kasus:



Besar gaya dorong yang harus diberikan pada balok tersebut adalah:

$F = w \sin \theta = mg \sin \theta$

Usaha yang harus dilakukan untuk mendorong balok pada bidang miring sepanjang 5 meter adalah:

$W = F\ s$
$W = (mg \sin \theta)\ s$
$W = (10\ kg) \times (10\ m/s^2)\ (3/5) \times (5\ m)$
$W = (10\ kg) \times (10\ m/s^2) \times (3\ m)$
$W = 300\ J.$

4. Sebuah batu besar berada pada jarak 25 m di depan sebuah kendaraan. Kendaraan tersebut bermassa 500 kg dan bergerak dengan kecepatan 10 m/s. Agar tepat berhenti sebelum mengenai batu, maka kendaraan tersebut harus direm dengan gaya sebesar . . .

A. 250 N
B. 500 N
C. 1000 N
D. 2000 N
E. 4000 N

Jawaban: C

- massa kendaraan, m = 500 kg
- kecepatan kendaraan mula-mula, $v_1 = 10$ m/s
- kecepatan kendaraan saat t, $v_2 = 0$ m/s
- jarak batu dari kendaraan, s = 25 m

Usaha yang harus diberikan pada kendaraan tersebut agar berhenti adalah:
$W = \Delta Ek$
$W = ½\ m\ (v_2^2 - v_1^2)$
$F\ s = ½\ m\ (v_2^2 - v_1^2)$
$F \times (25\ m) = ½ \times (500\ kg)\ ((0\ m/s)^2 - (10\ m/s)^2)$
$F \times (25\ m) = (250\ kg)\ ((-100\ m^2/s^2)$
$F \times (25\ m) = -25000\ Nm$
$F = -25000\ Nm : 25\ m$
$F = -1000$ N (tanda –, artinya gaya yang diberikan berlawanan dengan arah gerak benda).
Jadi, gaya pengereman pada kendaraan tersebut sebesar 1000 N dengan arah berlawanan dengan arah gerak kendaraan.

5. Benda A mempunyai massa 4 kg dan kelajuannya 2 m/s. Benda B mempunyai massa 2 kg dan kelajuannya 4 m/s. Kedua beban bergerak pada arah yang sama. Masing-masing benda kemudian menerima gaya sebesar F yang arahnya berlawanan dengan arah gerak kedua benda. Jika gaya F bekerja sampai kedua benda tersebut berhenti, maka pernyataan di bawah ini yang benar adalah . . .
   A. kedua benda menempuh jarak yang sama
   B. benda A menempuh jarak 2 kali lebih jauh dari benda B
   C. benda B menempuh jarak 2 kali lebih jauh dari benda A
   D. benda A menempuh jarak 4 kali lebih jauh dari benda B
   E. benda B menempuh jarak 4 kali lebih jauh dari benda A

   Jawaban: B

   - massa benda A , $m_A = 4$ kg
   - kelajuan benda A mula-mula, $v_{A1} = 2$ m/s
   - massa benda B, $m_B = 2$ kg
   - kelajuan benda B mula-mula, $v_{B1} = 4$ m/s
   - kelajuan benda A dan B setelah mendapat gaya F berlawan, $v_{A2} = v_{B2} = 0$ m/s

   Usaha yang harus dikerjakan gaya F pada masing-masing benda agar berhenti adalah:
   $W = \Delta Ek$
   $W = \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2) \cdot v_2 = 0$
   $F s = -\frac{1}{2} m v_1^2 \rightarrow$ (tanda –, arah gaya berlawanan dengan arah gerak kedua benda).
   Besar usaha adalah:
   $F s = \frac{1}{2} m v_1^2$
   $F (s_A + s_B) = \frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2$

   $$s_A + s_B = \frac{m_A v_A^2}{2F} + \frac{m_B v_B^2}{2F}$$

   maka :

   $$\frac{s_A}{s_B} = \frac{m_A \cdot v_A^2}{m_B \cdot v_B^2}$$

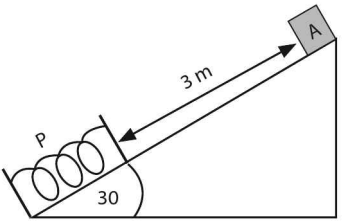
$$= \frac{(4\ \text{kg}) \times (2\text{m/s})^2}{(2\ \text{kg}) \times (4\text{m/s})^2}$$

$$= \frac{1}{2}$$

$\Leftrightarrow s_B = 2 \times s_A$

Jadi, benda B akan menempuh jarak 2 kali lebih jauh daripada benda A.

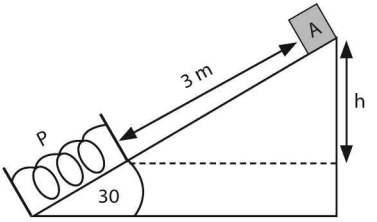
6. Perhatikan gambar berikut!



Benda A mempunyai massa 0,5 kg dan bergerak meluncur pada papan licin sejauh 3 m dari posisi diam. Lintasan yang ditempuh membentuk sudut 30° dengan bidang datar. Kemudian benda A menumbuk pegas P yang salah satu ujungnya tertancap kuat pada ujung papan. Jika konstanta pegas 900 N/m, maka pegas akan tertekan maksimum sejauh . . .

A. 4,9 cm
B. 8,7 cm
C. 10,6 cm
D. 12,9 cm
E. 18,7 cm

Jawaban: D



- konstanta pegas, k = 900 N/m
- massa benda A, m = 0,5 kg
- panjang papan, s = 3 m
- besar sudut kemiringan, θ = 30°

Papan luncur licin sehingga berlaku hukum kekekalan energi:

$Ep_A = Ep_{pegas}$

$mgh = ½ kx^2$

$mg\ s \sin 30° = ½ kx^2$

$(0{,}5\ kg)(10\ m/s^2)(3\ m)(½) = ½ (900\ N/m)\ x^2$

$15\ J = (900\ N/m)\ x^2$

$$\Leftrightarrow x = \sqrt{\frac{15Nm}{900N/m}}$$

$$\Leftrightarrow x = \frac{1}{30}\sqrt{15}\ m$$

$\Leftrightarrow x = 0{,}1291\ m$

$\Leftrightarrow x = 12{,}91\ cm.$

Jadi, pegas akan tertekan maksimum sejauh 12,9 cm.

7. Sebuah benda bermassa 4 kg, mula-mula diam, kemudian bergerak lurus dengan percepatan 3 m/s^2. Usaha yang diubah menjadi energi kinetik setelah 2 detik adalah . . .

A. 6 J
B. 12 J
C. 24 J
D. 48 J
E. 72 J

Jawaban: E

- massa benda, $m = 4\ kg$
- kelajuan benda mula-mula, $v_0 = 0\ m/s$
- percepatan benda, $a = 3\ m/s^2$
- selang waktu gaya bekerja pada benda, $t = 2\ s$

Usaha yang diubah menjadi energi kinetik setelah 2 detik adalah:

$W = F \cdot s$

$W = m\ a\ (v_0 t + ½ at^2) \rightarrow$ karena $v_0 = 0$

$W = ½\ m\ a^2\ t^2$

$W = ½ (4\ kg)(3\ m/s^2)^2 (2\ s)^2$

$W = (2\ kg)(9\ m^2/s^4)(4\ s^2)$

$W = 72\ kg\ m^2/s^2$

$W = 72\ J.$

8. Sebuah benda ditembakkan miring ke atas dengan sudut elevasi 60°. Benda tersebut memiliki energi kinetik 400 J. Jika g = 10 m/s², maka energi kinetik benda pada saat mencapai titik tertinggi adalah ....

A. 25 J
B. 50 J
C. 100 J
D. 150 J
E. 200 J

Jawaban: C

- sudut elevasi, $\alpha = 60°$
- energi kinetik mula-mula benda, $Ek_1 = 400$ J
- percepatan gravitasi, $g = 10$ m/s²
- energi potensial mul-mula benda, $Ep_1 = 0$

Energi kinetik mula-mula yang diberikan pada benda Ek_1, maka diperoleh:

$$Ek_1 = \frac{1}{2} m\, v_1^2$$

$$v_1^2 = \frac{2Ek_1}{m}$$

Tinggi maksimum yang dapat dicapai benda adalah:

$$y_2 = \frac{v_1^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

$$y_2 = \frac{2Ek_1 \sin^2 \alpha}{2mg}$$

$$y_2 = \frac{Ek_1 \sin^2 \alpha}{mg}$$

Energi kinetik benda pada titik tertinggi didapat dari hukum kekekalan energi mekanik, yaitu:

$Ek_1 + Ep_1 = Ek_2 + Ep_2$
$Ek_1 + 0 = Ek_2 + m\, g\, y_2$
$Ek_2 = Ek_1 - mgy_2$
$Ek_2 = Ek_1 - Ek_1 \sin^2\alpha$
$Ek_2 = Ek_1 (1 - \sin^2\alpha)$

$Ek_2 = Ek_1 \cos^2\alpha$
$Ek_2 = (400\ J)(\cos 60°)^2$
$Ek_2 = (400\ J)(½)^2$
$Ek_2 = 100\ J.$

9. Jika jari-jari bumi adalah R, maka tentukan usaha yang diperlukan untuk memindahkan benda dari permukaan bumi ke suatu tempat yang tingginya 20% jari-jari bumi . . . .

A. $\frac{GM}{6R}$
B. $\frac{GM^2}{6R}$
C. $\frac{GM\ m}{6R}$
D. $\frac{GM}{6R^2}$
E. $\frac{GM\ m}{6R^2}$

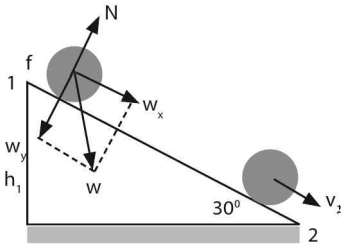
Jawaban: C

Usaha yang diperlukan untuk memindahkan benda m adalah:

$W = \Delta Ep$
$= Ep_1 - Ep_2$
$= \frac{GMm}{r_1} - \frac{GMm}{r_2}$

$$= GM\ m\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$
$$= GM\ m\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{1{,}2R}\right)$$
$$= GM\ m\left(\frac{1{,}2}{1{,}2R} - \frac{1}{1{,}2R}\right)$$
$$= GM\ m\left(\frac{0{,}2}{1{,}2R}\right)$$
$$= GM\ m\left(\frac{1}{6R}\right)$$
$$= \frac{GM\ m}{6R}$$

10. Sebuah bola massanya 2 kg mula-mula diam, kemudian meluncur ke bawah pada bidang miring dengan kemiringan bidang 30° dan panjangnya 10 m. Selama bergerak bola mengalami gaya gesekan 2 N. Kecepatan bola saat sampai pada dasar bidang adalah . . .



A. $4\sqrt{2}$ m/s
B. $4\sqrt{5}$ m/s
C. $5\sqrt{2}$ m/s
D. $5\sqrt{5}$ m/s
E. $6\sqrt{2}$ m/s

Jawaban: B

- massa bola, m = 2 kg
- sudut bidang miring, θ = 30°
- kecepatan awal bola, v_1 = 0 m/s

• gaya gesek, f = 2 N
• panjang bidang miring, s = 10 m

Kedudukan mula-mula bola tersebut adalah:
$h_1 = s \sin 30°$
$h_1 = (10 \text{ m}) (½)$
$h_1 = 5 \text{ m}.$
Energi mekanik di posisi awal:
$EM_1 = Ep_1 + Ek_1$
$= mgh_1 + ½ m v_1^2$
$= (2 \text{ kg}) (10 \text{ m/s}^2) (5 \text{ m}) + 0$
$= 100 \text{ J}$
Energi mekanik di posisi akhir:
$EM_2 = Ep_2 + Ek_2$
$= mgh_2 + ½ m v_2^2 \rightarrow (h_2 = 0)$
$= ½ m v_2^2$
$= ½ (2 \text{ kg}) v_2^2$
$= v_2^2$

Hukum kekekalan energi mekanik tidak berlaku, jika pada sistem bekerja gaya luar (gaya gesek). Dengan demikian usaha yang dilakukan oleh gaya luar/gaya gesek adalah:
$W_f = EM_2 - EM_1$
$-f \cdot s = v_2^2 - 100 \text{ J}$
$- (2 \text{ N}) (10 \text{ m}) = v_2^2 - 100 \text{ J}$
$\Leftrightarrow v_2^2 = -20 \text{ N} + 100 \text{ J}$
$\Leftrightarrow v_2^2 = 80 \text{ J}$
$\Leftrightarrow v_2 = \sqrt{80} \text{ m/s}$
$\Leftrightarrow v_2 = 4\sqrt{5} \text{ m/s}.$

LATIHAN SOAL 6

1. Jika interaksi satelit dengan bumi pada orbit lingkaran adalah 10.000 N, maka besarnya usaha yang dilakukan bumi terhadap satelit adalah . . .
   A. 500 J
   B. 750 J
   C. 1.000 J
   D. 1.250 J
   E. 0

2. Sebuah benda bermassa 2 kg bergerak pada suatu permukaan licin dengan kecepatan 2 m/s. Beberapa saat kemudian benda tersebut bergerak dengan kecepatan 5 m/s. Usaha yang dilakukan benda dalam selang waktu tersebut adalah . . .
   A. 4 J
   B. 9 J
   C. 15 J
   D. 21 J
   E. 25 J

3. Sebuah bola bermassa 1 kg dijatuhkan dari gedung melewati jendela *A* di lantai atas ke jendela *B* di lantai bawah dengan beda tinggi 2,5 m (g = 10 m/s^2). Jika kecepatan awal bola tersebut sebesar 0 m/s, besar usaha untuk perpindahan bola dari jendela *A* ke jendela *B* tersebut adalah ....
   A. 5 J
   B. 15 J
   C. 20 J
   D. 25 J
   E. 50 J

4. Sebuah benda ditembakkan miring ke atas dengan sudut elevasi 60° dengan energi kinetik 400 J. Jika g = 10 m/s², maka energi kinetik benda pada saat mencapai titik tertinggi adalah . . .
   A. 25 J
   B. 50 J
   C. 100 J
   D. 150 J
   E. 200 J

5. Sebuah mobil dengan massa 1 ton bergerak dari keadaan diam. Sesaat kemudian kecepatannya menjadi 5 m/s. Besar usaha mesin mobil tersebut adalah . . .
   A. 25.000 J
   B. 12.500 J
   C. 12.000 J
   D. 5.000 J
   E. 2.500 J

6. Sebuah benda dengan massa 1 kg jatuh bebas dari ketinggian 10 m di atas tanah. Usaha yang dilakukan sampai benda berada 2 m di atas tanah adalah . . .
   A. 20 J
   B. 40 J
   C. 60 J
   D. 80 J
   E. 100 J

7. Sebuah batu mempunyai massa 3 kg jatuh bebas dari ketinggian 15 m di atas tanah. Perubahan energi potensial dan usaha yang dilakukan gaya berat batu tersebut saat mencapai ketinggian 8 m adalah . . . ($g = 10$ m/s²)
   A. $\Delta E_p = -300$ J, dan W = 300 J
   B. $\Delta E_p = -210$ J, dan W = 210 J
   C. $\Delta E_p = 210$ J, dan W = 210 J
   D. $\Delta E_p = 150$ J, dan W = −300 J
   E. $\Delta E_p = -300$ J, dan W = 150 J

8. Sebuah benda bermassa 4 kg, mula-mula diam, kemudian bergerak lurus dengan percepatan 3 m/s². Usaha yang diubah menjadi energi kinetik setelah 2 detik adalah . . .
   A. 6 J
   B. 12 J
   C. 24 J
   D. 48 J
   E. 72 J

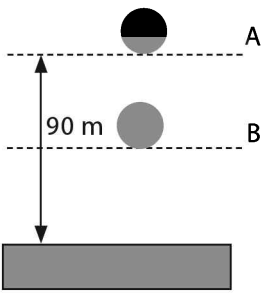
9. Sebuah pompa air membutuhkan tegangan sebesar 220 volt dan arus listrik 0,5 A untuk dapat mengalirkan air dengan kecepatan 2 m/s pada pipa yang berdiamater 4 cm. Jika pompa digunakan untuk mengisi bak mandi yang berukuran 100 cm × 100 cm × 50,24 cm, maka energi listrik yang diperlukan adalah . . .

A. 5 kJ
B. 11 kJ
C. 15 kJ
D. 22 kJ
E. 33 kJ

10. Sebuah motor listrik mengangkat benda seberat 1,5 kg ke atas setinggi 3 m. Jika tegangan, arus listrik, dan efisiensi motor berturut-turut adalah 12,5 V, 1,5 A, dan 60%, maka waktu yang diperlukan motor listrik untuk mengangkat benda adalah . . . (g = 10 m/s^2)

A. 3 s
B. 4 s
C. 5 s
D. 6 s
E. 8 s

11. Sebuah bola dengan massa 2 kg jatuh bebas dari posisi A seperti pada gambar berikut.



Ketika bola sampai di titik *B,* besar energi kinetik sama dengan 2 kali energi potensial. Tinggi titik *B* dari tanah adalah . . . (g = 10 m/s^2)

A. 80 m
B. 70 m
C. 60 m
D. 40 m
E. 30 m

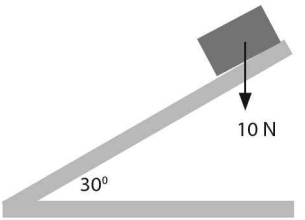
12. Sebuah benda bermassa 20 gram terletak pada bidang miring dengan sudut 30° terhadap bidang horizontal. Jika benda bergeser sejauh 3 meter ke arah bawah, maka usaha yang dilakukan oleh gaya berat adalah ... ($g = 9{,}8\ m/s^2$)

A. 60 J
B. 65,3 J
C. 294 J
D. $2.994\sqrt{3}$ J
E. 588 J

13. Sebuah benda dengan massa 2 kg mula-mula dalam keadaan diam pada sebuah bidang datar yang licin. Kemudian sebuah gaya bekerja pada benda tersebut. Usaha yang dilakukan pada benda sehingga kecepatannya menjadi 8 m/s adalah ...

A. 24 J
B. 34 J
C. 44 J
D. 54 J
E. 64 J

14. Perhatikan gambar berikut!



Benda seberat 10 N berada pada bidang miring yang licin dengan sudut kemiringan 30°. Jika benda meluncur sejauh 1 m, maka usaha yang dilakukan oleh gaya berat adalah ...

A. 10 sin 30° J
B. 10 cos 30° J
C. 10 sin 60° J
D. 10 tan 30° J
E. 10 tan 60° J

15. Sebuah balok ditarik dengan tali yang membentuk sudut 60° terhadap lantai. Jika gaya tarik pada tali 30 N dan balok berpindah sejauh 5 m, maka usaha yang dilakukan oleh gaya tersebut adalah ...

A. 30 J
B. 45 J
C. 60 J
D. 75 J
E. 85 J

16. Sebuah balok bermassa 10 kg didorong dari dasar suatu bidang miring. Panjang bidang miring tersebut 5 meter dan puncaknya berada 3 meter dari tanah. Jika bidang miring dianggap licin, maka usaha yang harus dilakukan untuk mendorong balok adalah . . .
A. 300 J
B. 1.500 J
C. 2.500 J
D. 3.500 J
E. 4.000 J

17. Sebuah tongkat yang panjangnya 40 cm dan tegak di atas tanah, dijatuhi martil 10 kg dari ketinggian 50 cm di atas ujungnya. Jika gaya tahan rata-rata tanah 10^3 N, maka banyaknya tumbukan martil yang perlu dilakukan terhadap tongkat agar menjadi rata dengan permukaan tanah adalah . . .
A. 4 kali
B. 5 kali
C. 6 kali
D. 8 kali
E. 10 kali

18. Sebuah gaya $F = (2i + 3j)$ N melakukan usaha dengan titik tangkapnya berpindah menurut $r = (4i + aj)$ m, di mana vektor i dan j berturut-turut adalah vektor satuan searah sumbu X dan sumbu Y pada koordinat Cartesian. Jika usaha yang dilakukan gaya sebesar 26 J, maka nilai a adalah . . .
A. 5
B. 6
C. 7
D. 8
E. 12

19. Sebuah benda bermassa 2,5 kg digerakkan mendatar di meja licin dari keadaan diam oleh sebuah gaya mendatar F. Gaya F berubah terhadap waktu menurut persamaan F(t) = 80 + 5t. Pada saat t = 25 s, energi kinetiknya adalah . . .
A. 6.780 J
B. 5.780 J
C. 4.780 J
D. 3.870 J
E. 2.870 J

20. Sebuah benda bermassa 0,5 kg dilemparkan vertikal ke atas dengan kecepatan awal 20 m/s. Energi kinetik benda saat mencapai ¼ dari tinggi maksimumnya adalah . . . (g = 10 m/s^2)
    A. 100 J
    B. 75 J
    C. 50 J
    D. 40 J
    E. 25 J

21. Untuk mengangkat benda bermassa 50 kg setinggi 300 m dalam waktu 20 s, diperlukan daya sebesar. . . (g = 10 m/s^2)
    A. 15.000 W
    B. 7.500 W
    C. 1.000 W
    D. 750 W
    E. 500 W

22. Sebuah benda dengan massa 0,10 kg jatuh bebas vertikal dari ketinggian 2 m ke hamparan pasir. Jika benda itu masuk ke dalam pasir 2 cm sebelum berhenti, gaya rata-rata yang dilakukan pasir untuk menghambat benda besarnya sekitar . . .
    A. 30 N
    B. 50 N
    C. 60 N
    D. 90 N
    E. 100 N

23. Sebuah palu bermassa 2 kg dan berkecepatan 20 m/s menghantam sebuah paku, sehingga paku masuk sedalam 5 cm dalam kayu. Besar gaya tahanan yang disebabkan kayu ini adalah . . .
    A. 400 N
    B. 800 N
    C. 4.000 N
    D. 8.000 N
    E. 40.000 N

24. Sebuah benda dengan massa 1 kg berada pada ketinggian 20 m dari tanah. Kemudian benda tersebut jatuh bebas ke tanah. Usaha yang dilakukan oleh gaya berat adalah . . . (g = 10 m/s^2)
    A. 100 J
    B. 200 J
    C. 300 J
    D. 400 J
    E. 500 J

25. Seorang siswa menerjunkan diri dari papan kolam renang setinggi 8 meter dari permukaan air tanpa kecepatan awal. Jika massa siswa 40 kg, maka kecepatan siswa tersebut saat membentur permukaan air adalah . . . (g = 10 m/s^2)

A. 80 m/s
B. 16 m/s
C. $4\sqrt{10}$ m/s
D. $4\sqrt{5}$ m/s
E. $4\sqrt{2}$ m/s

26. Sebuah benda bermassa 1 kg dilemparkan vertikal ke atas dengan kecepatan awal 40 m/s. Besarnya energi kinetik saat ketinggian benda mencapai 20 m adalah . . . (g = 10 m/s^2)

A. 300 J
B. 400 J
C. 500 J
D. 600 J
E. 700 J

27. Sebuah benda massanya 10 kg bergerak dengan kecepatannya 4 m/s pada bidang datar. Karena pengaruh gaya F, kecepatannya berubah menjadi 9 m/s. Besar usaha selama benda bergerak adalah. . .

A. 485 J
B. 405 J
C. 325 J
D. 80 J
E. 25 J

28. Sebuah peluru dengan massa 20 gram ditembakkan dengan sudut elevasi 30° dengan kecepatan 40 m/s. Jika gesekan peluru dengan udara diabaikan, maka energi potensial peluru pada saat mencapai titik tertinggi adalah . . .

A. 2 J
B. 4 J
C. 5 J
D. 6 J
E. 8 J

29. Sebuah benda bermassa 4 kg mula-mula diam, kemudian bergerak lurus dengan percepatan 3 m/s^2. Usaha yang diubah menjadi energi kinetik setelah 2 detik sebesar . . .

A. 6 J
B. 12 J
C. 24 J
D. 48 J
E. 72 J

30. Sebuah benda ditembakkan miring ke atas dengan sudut elevasi 60° dengan energi kinetik 400 J. Energi kinetik pada saat benda mencapai titik tertinggi adalah . . . ($g = 10\ m/s^2$)

A. 25 J
B. 50 J
C. 100 J
D. 150 J
E. 200 J

Fisika (bahasa Yunani: fysikós, "alamiah" atau fýsis, "alam") adalah ilmu tentang alam dalam makna yang terluas.

MOMENTUM DAN IMPULS

7

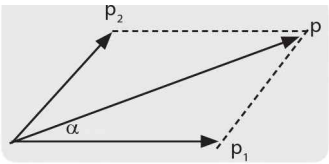
A. MOMENTUM

Momentum suatu benda merupakan hasil perkalian antara massa dan kecepatan yang dialami benda tersebut. Secara matematis ditulis:

$$p = m\,v$$

dengan:
p = momentum (kg m/s)
m = massa benda (kg)
v = kecepatan benda (m/s)

Momentum merupakan besaran vektor, sehingga penjumlahan momentum mengikuti aturan penjumlahan vektor.



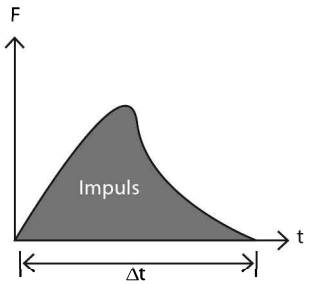
Resultan vektor p_1 dan p_2 yang membentuk sudut α dirumuskan

dengan persamaan:

$$p = \sqrt{p_1^{\,2} + p_2^{\,2} + 2p_1p_2\cos\alpha}$$

B. IMPULS

Impuls merupakan hasil perkalian antara gaya (F) yang bekerja pada suatu benda dalam selang waktu (Δt).



Secara matematis, dituliskan:

$$I = F\,\Delta t$$

dengan,

I = impuls (N.s)
F = gaya yang bekerja (N)
Δt = selang waktu (s)

Gaya merupakan besaran vektor, sedangkan waktu merupakan besaran scalar. Dengan demikian impuls adalah besaran vektor dengan arah sama dengan arah gaya yang menyebabkan impuls.
Dari hukum II Newton, diperoleh hubungan berikut.

$F = m\,a$

$$F = m\frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

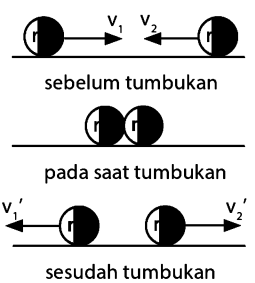
$$F = m\frac{v_2 - v_1}{\Delta t}$$

$F \Delta t = m v_2 - m v_1$

Impuls yang dikerjakan pada benda adalah sama dengan perubahan momentum yang dialami benda, yaitu momentum akhir dikurangi momentum awal.
Secara matematis dituliskan:

$I = p_2 - p_1 = \Delta p$

C. HUKUM KEKEKALAN MOMENTUM



Hukum kekekalan momentum menyatakan: *"Jika tidak ada gaya luar yang bekerja pada sistem, maka momentum total sesaat sebelum sama dengan momentum total sesudah tumbukan".*

$$p_1 + p_2 = p_1' + p_2'$$
$$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2'$$

dengan,

p_1 , p_2= momentum benda pertama dan kedua sebelum tumbukan
p_1 , p_2= momentum benda pertama dan kedua sesudah tumbukan
v_1 , v_2= kecepatan benda pertama dan kedua sebelum tumbukan
v_1', v_2'= kecepatan benda pertama dan kedua sesudah tumbukan

D. HUKUM KEKEKALAN ENERGI KINETIK PADA TUMBUKAN

Koefisien restitusi, e, adalah besaran yang menyatakan nilai negatif dari perbandingan antara beda kecepatan kedua benda yang bertumbukan sesaat sesudah tumbukan dan sesaat sebelum tumbukan.

$$e = -\frac{(v_1' - v_2')}{v_1 - v_2}$$

dengan e adalah koefisien restitusi (1 > e > 0). Berdasarkan sifat kelentingan atau elastisitas benda yang bertumbukan, tumbukan dapat dibedakan menjadi tiga jenis.

Tumbukan lenting sempurna, berlaku:
- hukum kekekalan momentum,
- hukum kekekalan energi kinetik,
- koefisien restitusi, e = 1.

Tumbukan lenting sebagian, berlaku:
- hukum kekekalan momentum,
- koefisien restitusi, (1 > e > 0).

Tumbukan tidak lenting sama sekali, berlaku:
- hukum kekekalan momentum,
- koefisien restitusi, e = 0,
- kecepatan benda setelah tumbukan sama, $v_1' = v_2' = v$
- sebagian energi berubah menjadi kalor, $Q = \sum Ek - \sum Ek'$.

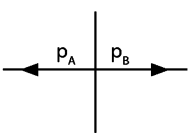
CONTOH SOAL DAN PEMBAHASAN

1. Benda A bermassa 3 kg bergerak ke kiri dengan kelajuan 10 m/s dan benda B bermassa 7 kg bergerak ke kanan dengan kelajuan 4 m/s. Momentum total keduanya adalah . . .

   A. 3 kg m/s
   B. 2 kg m/s
   C. –2 kg m/s
   D. –3 kg m/s
   E. –5 kg m/s

   Jawaban: B

   - massa benda A, $m_A = 3$ kg
   - massa benda B, $m_B = 7$ kg
   - kecepatan benda A, $v_A = 10$ m/s



- kecepatan benda B, $v_B = 4$ m/s
- arah gerak benda berlawanan

Kedua benda bergerak segaris dan berlawanan arah ($\alpha = 180°$), maka momentum total kedua benda adalah:

$$P = \sqrt{p_B^{\,2} + p_A^{\,2} + 2p_B p_A \cos\alpha}$$
$$= \sqrt{p_B^{\,2} + p_A^{\,2} + 2p_B p_A \cos 180} \rightarrow \cos 180^0 = -1$$
$$= \sqrt{p_B^{\,2} + p_A^{\,2} - 2p_B p_A}$$
$$= \sqrt{(p_B + p_A)^2}$$
$$= P_B - P_A$$
$$= m_B\ v_B - m_A\ v_A$$
$$= (7\text{ kg})(4\text{ m/s}) - (3\text{ kg})(10\text{ m/s})$$
$$= 28\text{ kg m/s} - 30\text{ kg m/s}$$
$$= -2\text{ kg m/s}$$

2. Impuls yang dibutuhkan untuk menambah kecepatan sebuah mobil yang bermassa 100 kg dari 36 km/jam menjadi 108 km/jam adalah . . .

A. 1.000 Ns
B. 2.000 Ns
C. 3.000 Ns
D. 4.000 Ns
E. 5.000 Ns

Jawaban: B

- massa mobil, m = 100 kg
- kecepatan awal mobil, $v_1 = 36$ km/jam = 10 m/s
- kecepatan mobil setalah dipercepat, $v_2 = 108$ km/jam = 30 m/s

Ingat!
Konversi satuan:
1 km = 1000 m
1 jam = 3600 s

Impuls yang dibutuhkan untuk menambah kecepatan mobil tersebut adalah:

$I = m(v_2 - v_1)$
$= 100 \text{ kg } [(30 \text{ m/s}) - (10 \text{ m/s})]$
$= 100 \text{ kg } [20 \text{ m/s}]$
$= 2000 \text{ kg m/s}$
$= 2000 \text{ N s.}$

3. Sebuah truk yang massanya 2.000 kg melaju dengan kecepatan 36 km/jam. Truk tersebut menabrak sebuah pohon dan berhenti dalam waktu 0,1 detik. Gaya rata-rata pada truk selama berlangsungnya tabrakan adalah . . .

A. 200 N
B. 2000 N
C. 20000 N
D. 200000 N
E. 2000000 N

Jawaban: D

- massa truk, $m = 2 \times 10^3$ kg
- kelajuan awal truk, $v_1 = 36$ km/jam $= 10$ m/s
- kelajuan truk sesaat setelah menabrak pohon, $v_2 = 0$
- selang waktu gaya yang bekrja pada truk sesaat sebelum berhenti, $\Delta t = 0{,}1$ s

Gaya rata-rata pada truk selama berlangsungnya tabrakan dapat diperoleh dari konsep impuls, yaitu:

$$F = \frac{m(v_2 - v_1)}{\Delta t}$$
$$= \frac{(2 \times 10^3 \text{ kg})(0 - 10 \text{ m/s})}{0{,}1 \text{ s}}$$
$$= -2 \times 10^5 \text{ N}$$
$$= -200.000 \text{ N}$$

Jadi, besar gaya rata-rata yang diberikan pohon pada truk adalah 200.000 N dengan arah berlawanan dengan arah gerak truk mula-mula.

4. Sebuah benda mula-mula diam, meledak menjadi dua bagian dengan perbandingan 3 : 2. Bagian yang massanya lebih besar terlempar dengan kecepatan 20 m/s. Maka kecepatan terlemparnya bagian yang kecil adalah . . .

A. 13,3 m/s
B. 20 m/s
C. 30 m/s
D. 40 m/s
E. 50 m/s

Jawaban: C

- kecepatan benda mula-mula sebelum meledak, $v_1 = v_2 = 0$
- massa benda sebelum meledak, $m_1 = m_2 = m$
- perbandingan massa setelah meledak, $m_1 : m_2 = 3 : 2 \Rightarrow m_1 = \frac{3}{2} m_2$.
- kecepatan benda bagian terbesar, $v_1' = 20$ m/s

Kecepatan benda yang kecil setelah meledak (v_2') dapat diperoleh dari hukum kekekalan momentum berikut.

$m(v_1 + v_2) = m_1 v_1' + m_2 v_2' \rightarrow$ karena $v_1 = v_2 = 0$

$$v_2' = -\frac{m_1}{m_2} \times v_1'$$

$$= -\frac{\frac{3}{2} m_2}{m_2} \times 20 \text{ m/s}$$

$$= -30 \text{ m/s}$$

Jadi, besar kecepatan terlemparnya bagian benda terkecil adalah 30 m/s dengan arah berlawanan dengan arah bagian benda terbesar.

5. Dua buah benda titik bermassa $m_1 = 5$ kg dan $m_2 = 6$ kg berdekatan di bidang datar licin. Sistem ini mendapat impuls gaya sehingga kedua benda bergerak masing-masing dengan laju $v_1 = 1$ m/s dan $v_2 = 2$ m/s dan arahnya saling tegak lurus. Besar impuls gaya yang bekerja pada sistem adalah . . .

A. 5 Ns
B. 7 Ns
C. 12 Ns
D. 13 Ns
E. 17 Ns

Jawaban: D

Ingat!
Impuls yang dikerjakan pada benda adalah sama dengan perubahan momentum yang dialami benda, yaitu momentum akhir dikurangi momentum awal.

$I = p_2 - p_1 = \Delta p$

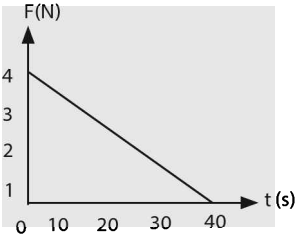
- massa benda pertama, $m_1 = 5$ kg
- massa benda kedua, $m_2 = 6$ kg
- kecepatan benda pertama dan benda kedua mula-mula, $v_1 = v_2 = 0$
- kecepatan benda pertama setelah mendapat gaya (F), $v_1' = 1$ m/s
- kecepatan benda kedua setelah mendapat gaya (F), $v_2' = 2$ m/s
- arah kedua kecepatan pada benda saling tegak lurus, $\alpha = 90°$.

Momentum total akibat gaya (F) yang bekerja pada benda adalah:

$$\begin{aligned} p' &= \sqrt{p_1^{\,2} + p_2^{\,2} + 2p_1p_2\cos\alpha} \\ &= \sqrt{p_1^{\,2} + p_2^{\,2} + 2p_1p_2\cos 90} \rightarrow \cos\ 90° = 0 \\ &= \sqrt{p_1^{\,2} + p_2^{\,2}} \\ &= \sqrt{(m_1v_1)^2 + (m_2v_2)^2} \\ &= \sqrt{((5\text{kg})(1\text{m/s}))^2 + ((6\text{kg})(2\text{m/s})^2} \\ &= \sqrt{25 + 144}\ \text{kg m/s} \\ &= 13\ \text{N}\cdot\text{s} \end{aligned}$$

Momentum total awal sebelum gaya (F) bekerja pada benda adalah nol (p = 0), maka besar impuls gaya yang bekerja pada sistem adalah:

$$\begin{aligned} I &= \Delta p = p' - p \\ &= 13\ \text{N}\cdot\text{s} - 0 \\ &= 13\ \text{N}\cdot\text{s}. \end{aligned}$$

6. 

Sebuah benda bermassa 2 kg yang sedang bergerak dengan laju tetap tiba-tiba menumbuk karung pasir sehingga mengalami gaya F sebagai fungsi waktu seperti grafik di samping. Perubahan laju benda selama 4 detik pertama adalah . . .

A. 11,6 m/s
B. 10,6 m/s
C. 9,6 m/s
D. 8,6 m/s
E. 7,6 m/s

Jawaban: E

- massa benda, m = 2 kg
- selang waktu gaya (F) bekerja pada benda, $\Delta t = 4$ s

Grafik F – t berupa kurva garis lurus, maka fungsi F terhadap t dapat diperoleh sebagai berikut.

$40\,F + 4\,t = (40) \times (4)$

$40\,F + 4t = 160$

$10F + t = 40$

$$F(t) = -\frac{1}{10}t + 4$$

Perubahan laju benda selama 4 sekon, dapat ditentukan dari konsep impuls – momentum, yaitu:

$m\,\Delta v = I$

$m\,\Delta v = F\,\Delta t$

$$\Delta v = \frac{1}{m}\int_0^4 F(t)\,dt$$

$$= \frac{1}{m}\int_0^4 \left(-\frac{1}{10}t + 4\right)dt$$

$$= \frac{1}{m}\left(-\frac{1}{20}t^2 + 4t\right)_0^4$$

$$= \frac{1}{2}\left(-\frac{1}{20}\cdot 4^2 + 4\cdot 4 - 0\right)$$

$$= \frac{1}{2}\left(-\frac{4}{5}\cdot +16\right)$$
$$= -\frac{2}{5} + 8$$
$$= 7\tfrac{3}{5}$$
$$= 7{,}6 \text{ m/s}$$

Jadi, perubahan laju selama 4 detik pertama adalah 7,6 m/s.

7. Sebuah partikel bermassa 2 kg bergerak sepanjang sumbu X-positif dengan kelajuan 4 m/s. Pada partikel tersebut dikerjakan impuls yang bekerja selama 0,1 sekon sedemikian sehingga setelah impuls bekerja, partikel bergerak sepanjang sumbu Y-negatif dengan kelajuan 3 m/s. Besar dan arah gaya yang bekerja adalah . . .

A. 100 N dan θ = 90°
B. 100 N dan θ = 217°
C. 200 N dan θ = 275°
D. 200 N dan θ = 315°
E. 300 N dan θ = 90°

Jawaban: B

- massa benda, m = 2 kg
- kecepatan benda sebelum impuls bekerja, $v_1 = 4i$ m/s (i = vektor satuan arah sumbu-x)
- kecepatan benda setelah impuls bekerja, $v_2 = -3j$ m/s (j = vektor satuan arah sumbu-y)
- selang wakti impuls bekerja pada benda, $\Delta t = 0{,}1$ s

Momentum benda sebelum impuls bekerja adalah:

$p_1 = m\, v_1$
$= (2 \text{ kg})\ (4i \text{ m/s})$
$= 8i \text{ kg m/s}$

Momentum benda setelah impuls bekerja adalah:

$p_2 = m\, v_2$
$= (2 \text{ kg})\ (-3j \text{ m/s})$
$= -6j \text{ kg m/s}$

Impuls yang bekerja pada sebuah benda sama dengan perubahan momentumnya, maka berlaku:

$I = \Delta p$

$F\,\Delta t = p_2 - p_1$

$$F = \frac{p_2 - p_1}{\Delta t}$$

$$= \frac{(-6j - 8i)\,kgm/s}{0{,}1s}$$

$$= (-80i - 60j)\ N$$

Besar gaya impuls yang bekerja pada benda adalah:

$$F = \sqrt{(F_x)^2 + (F_y)^2}$$

$$= \sqrt{(-80)^2 + (60)^2}\ N$$

$$= 100\ N.$$

Arah gaya yang bekerja pada benda adalah:

$$\tan\theta = \frac{F_y}{F_x}$$

$$= \frac{-60}{-80}(\text{berada di kuadrat III})$$

$$= \frac{3}{4}$$

$$\Leftrightarrow \theta = 180^0 + \text{arc tan } (\tfrac{3}{4})$$

$$= 180^0 + 37^0$$

$$= 217^0$$

8. Sebuah peluru bermassa 20 gram ditembakkan dari senapan yang bermassa 1,6 kg dengan kelajuan 800 m/s. Jika diketahui besarnya gaya yang bekerja pada bahu penembak berlawanan arah sebesar 1600 N, maka jarak dorongan senapan dapat dihentikan sejauh . . .

A. 1 cm
B. 5 cm
C. 10 cm
D. 18 c
E. 20 cm

Jawaban: B

- massa senapan, $m_1 = 1{,}6$ kg
- massa peluru, $m_2 = 20$ gram $= 0{,}02$ kg
- kecepatan mula-mula senapan dan peluru, $v_1 = v_2 = 0$
- kecepatan peluru setelah ditembakkan, $v_2' = 800$ m/s

Peluru dan senapan:

Kecepatan mundur (senapan mendorong bahu penembak) sesaat setelah menembak adalah:

$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2' \rightarrow$ karena $v_1 = v_2 = 0$, maka:

$m_1v_1' = m_2v_2'$

$$v_1' = -\frac{m_2}{m_1} x\ v_2'$$

$$= -\frac{0{,}02}{1{,}6} x\ (800\ m/s)$$

$$= -10\ m/s$$

Besar laju senapan mendorong bahu penembak sesaat setelah menembak adalah 10 m/s dengan arah berlawanan dengan arah gerak peluru.

Senapan dan bahu:

- kecepatan senapan mula-mula sebelum mengenai bahu, $v_1 = v_1' = 10$ m/s
- kecepatan senapan setelah mengenai bahu dan berhenti, $v_2 = 0$
- gaya yang bekerja pada bahu, $F = -1600$ N (berlawanan arah dengan arah gerak senapan)

Jarak dorong senapan dapat dihentikan oleh bahu dapat ditentukan dengan konsep usaha-energi, yaitu:

$W = \Delta Ek$

$F\,s = Ek_2 - Ek_1$

$= \frac{1}{2}m\left(v_2^{\,2} - v_1^{\,2}\right) \rightarrow$ karena $v_2 = 0$

$s = \frac{-mv_1^{\,2}}{2F}$

$= \frac{-(1{,}6\,kg)(10\,m/s)^2}{2(-1600N)}$

$= \frac{-160}{-3200}\,m$

$= 0{,}05\ m$

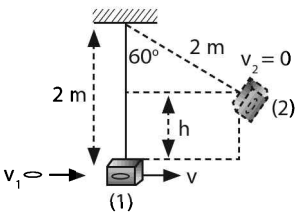
$= 5\ cm.$

9. Sebuah peluru bermassa 15 gram ditembakkan ke dalam suatu ayunan balistik yang bermassa 1,5 kg. Peluru tertanam di dalam balok. Pada saat ayunan mencapai maksimum, kawat membentuk sudut 60^0 terhadap sumbu vertikal. Jika panjang kawat 2 m, kecepatan peluru sebelum menumbuk balistik adalah . . .

A. $10{,}1\sqrt{5}$ m/s
B. $20{,}2\sqrt{5}$ m/s
C. $101\sqrt{5}$ m/s
D. $202\sqrt{5}$ m/s
E. $2.020\sqrt{5}$ m/s

Jawaban:D.

Sketsa kasus:



- massa peluru, $m_1 = 15$ gram $= 0{,}015$ kg
- massa ayunan balistik, $m_2 = 1{,}5$ kg
- kecepatan ayunan balistik sebelum ditembak, $v_2 = 0$

Setelah ditembakkan, peluru tertanam dalam ayunan balistik (tumbukan tidak lenting sama sekali) dan bergerak dengan kecepatan v, maka berlaku hukum kekekalan momentum:

$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2'$

$m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)\, v$

$m_1v_1 + 0 = (m_1 + m_2)\, v$

$$v_1 = \frac{m_1 + m_2}{m_1} \times v$$

$$= \frac{(0{,}015 + 1{,}5)\text{kg}}{0{,}015\text{kg}} \times v$$

$$= 101\ v \qquad \ldots\text{(i)}$$

Dari gambar, kita peroleh:

$h = l - l\cos 60°$

$= 2\text{ m} - (2\text{ m}) \times ½$

$= 1\text{ m}.$

Untuk kondisi (1) dan (2) pada gambar, berlaku hukum kekekalan energi mekanik:

$Ep_1 + Ek_1 = Ep_2 + Ek_2$

$mgh_1 + ½\, mv_1^2 = mgh_2 + ½\, mv_2^2$

$gh_1 + ½\, v_1^2 = gh_2 + ½\, v_2^2$

$0 + ½\, v^2 = 10 \times 1 + ½ \times 0$

$$v_1 = \sqrt{20}$$

$$= 2\sqrt{5}\ \text{m/s} \qquad \ldots\text{(ii)}$$

Substitusi pers. (ii) ke (i), diperoleh:

$v_1 = 101 \times 2\sqrt{5}$ m/s

$= 202\sqrt{5}$ m/s

Jadi, kecepatan peluru sebelum bertumbukan adalah $202\sqrt{5}$ m/s.

Tips!

Pada kasus peluru (m_1) yang ditembakkan pada ayunan balistik (m_2) setimbang dengan panjang tali l, maka kecepatan peluru (v_1) adalah:

$$v_1 = \left(\frac{m_1 + m_2}{m_1}\right) \times \sqrt{2g(\ell - \ell\cos\theta)}$$
$$= \left(\frac{0{,}015 + 1{,}5}{0{,}015}\right) \times \sqrt{2.10\left(2 - 2\cos 60^0\right)}$$
$$= \left(\frac{1{,}515}{0{,}015}\right) \times \sqrt{20\left(2 - 2\frac{1}{2}\right)}$$
$$= 202\sqrt{5} \text{ m/s}$$

10. Dua buah benda dengan massa sama, kecepatannya masing-masing 10 m/s dan 20 m/s. Jika kedua benda tersebut bergerak dari arah berlawanan dan melakukan tumbukan lenting sempurna, kecepatan masing-masing benda setelah tumbukan adalah . . .

A. –10 m/s dan 0 m/s
B. –20 m/s dan 10 m/s
C. –15 m/s dan 5 m/s
D. –5 m/s dan 15 m/s
E. –25 m/s dan 10 m/s

Jawaban: B

- dua benda massanya sama, $m_1 = m_2 = m$
- kecepatan benda pertama sebelum tumbukan, $v_1 = 10$ m/s
- kecepatan benda kedua sebelum tumbukan, $v_2 = -20$ m/s
- kedua benda bertumbukan lenting sempurna, e = 1

Tumbukan lenting sempurna (e = 1), maka berlaku:

$-(v_1' - v_2') = v_1 - v_2$
$-v_1' + v_2' = 20 \text{ m/s} - (-10 \text{ m/s})$
$-v_1' + v_2' = 30 \text{ m/s}$ . . . (i)

Dari hukum kekekalan momentum, diperoleh:

$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2' \rightarrow$ karena $m_1 = m_2 = m$

$v_1 + v_2 = v_1' + v_2'$

$10 \text{ m/s} - 20 \text{ m/s} = v_1' + v_2'$

$v_1' + v_2' = -10 \text{ m/s}$ ... (ii)

Dari persamaan (i) dan (ii), diperoleh:

$-v_1' + v_2' = 30 \text{ m/s}$

$v_1' + v_2' = -10 \text{ m/s} +$

$2v_2^{2\prime} = 20 \text{ m/s}$

$v_2' = 10 \text{ m/s}$ ... (iii)

Substitusi persamaan (iii) ke persamaan (i), diperoleh:

$-v_1' + v_2' = 30 \text{ m/s}$

$v_1' = v_2' - 30 \text{ m/s}$

$= 10 \text{ m/s} - 30 \text{ m/s}$

$= -20 \text{ m/s}$

Jadi, kecepatan masing-masing benda setelah tumbukan adalah –20 m/s dan 10 m/s.

11. Sebuah granat tiba-tiba meledak dan pecah menjadi dua bagian yang bergerak dalam arah berlawanan. Perbandingan massa kedua bagian itu adalah $m_1 : m_2 = 1 : 2$. Bila energi yang dibebaskan adalah 3×10^5 joule, perbandingan energi kinetik pecahan pertama dan kedua adalah ...

A. 1 : 1
B. 2 : 1
C. 1 : 3
D. 5 : 1
E. 7 : 5

Jawaban: B

- massa granat sebelum meledak, $m_1 = m_2 = m$
- kecepatan bagian massa sebelum meledak adalah nol, $v_1 = v_2 = 0$
- perbandingan massa setelah meledak, $m_1' : m_2' = 1 : 2 \rightarrow m_2' = 2 m_1'$

Granat meledak, maka berlaku hukum kekekalan momentum, yaitu:

$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2'$

$m\,(v_1 - v_2) = m_1v_1' + m_2v_2'$

$0 = m_1v_1' + m_2v_2'$

$m_1v_1' = -\,m_2v_2'$

$m_1v_1' = -2\,m_2v_2'$

$v_1' = -2\,v_2'$

Perbandingan energi kinetik pecahan pertama dan kedua adalah:

$$\frac{Ek_1'}{Ek_2'} = \frac{\frac{1}{2}m_1'v_1'^2}{\frac{1}{2}m_2'v_2'^2}$$

$$= \frac{\frac{1}{2}m_1'v_1'^2}{\frac{1}{2}m_2'v_2'^2}$$

$$= \frac{4m_1'v_2'^2}{2m_1'v_2'^2}$$

$$= \frac{4}{2}$$

$$= 2:1$$

12. Sebanyak 10^{12} butir elektron tiap 0,3 s menumbuk layar televisi dengan kelajuan rata-rata 10^7 m/s. Gaya yang dikerjakan elektron pada layar jika massa 1 elektron = 9.10^{-31} kg adalah . . .

A. -5×10^{-11} N
B. 7×10^{-31} N
C. 9×10^{-31} N
D. -6×10^{-11} N
E. -4×10^{-11} N

Jawaban: D

- banyak butir elektron, $n = 10^{12}$ butir
- massa tiap elektron, $m_e = 9 \times 10^{-31}$ kg
- massa total elektron, $m_{eT} = 10 \times 10^{12} \times 9 \times 10^{-31}$ kg $= 9 \times 10^{-19}$ kg
- kelajuan rata-rata elektron sebelum menumbuk layar, $v_1 = 10^7$ m/s

- kelajuan rata-rata elektron setelah menumbuk layar, $v_2 = -10^7$ m/s
- selang waktu gaya oleh elektron bekerja pada layar, $\Delta t = 0{,}3$ s

Gaya yang dikerjakan elektron setiap 0,3 s yang menumbuk layar adalah:

$I = \Delta p$

$F\,\Delta t = p_2 - p_1$

$$F = \frac{m(v_2 - v_1)}{\Delta t}$$

$$= \frac{(9\times10^{-19}\text{kg})(-10^7 - 10^7)\text{m/s}}{0{,}3\text{s}}$$

$$= \frac{(9\times10^{-19}\text{kg})(-2\times10^7\,\text{m/s})}{0{,}3\text{s}}$$

$$= \frac{-18\times10^{-12}\,\text{kgm/s}}{3\times10^{-1}\,\text{s}}$$

$= -6 \times 10^{-11}$ kg m/s^2

$= -6 \times 10^{-11}$ N

Tanda negatif, berarti arah gaya searah dengan kelajuan elektron setelah menumbuk layar dan berlawanan arah dengan arah kecepatan elektron sebelum menumbuk layar.

13. Sebuah bola massanya 2 kg jatuh dari ketinggian 45 m. Waktu bola menumbuk tanah adalah 0,1 s sampai akhirnya bola berbalik dengan kecepatan 2/3 kali kecepatan ketika bola menumbuk tanah. Jika gravitasi bumi sebesar g = 10 m/s^2, maka besarnya gaya yang bekerja pada bola akibat menumbuk tanah adalah . . .

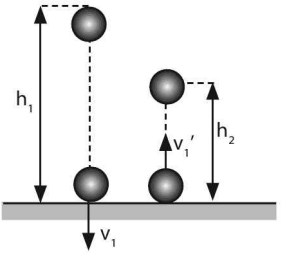
A. 100 N
B. 200 N
C. 300 N
D. 400 N
E. 1000 N

Jawaban: E

- massa bola, m = 2 kg
- posisi bola awal sebelum jatuh bebas, $h_1 = 45$ m

- kelajuan awal bola sebelum jatuh bebas, $v_0 = 0$
- selang waktu bola sampai menumbuk tanah dan berbalik lagi, $\Delta s = 0{,}1$ s
- kelajuan bola setelah menumbuk tanah, $v_1' = -2/3\ v_1$.
- percepatan gravitasi, $g = 10\ m/s^2$

Sketsa kasus:



Kecepatan bola sesaat sebelum tumbukan adalah:

$$\begin{aligned} v_1 &= \sqrt{2gh_1} \\ &= \sqrt{2(10\,m/s^2)(45m)} \\ &= \sqrt{900}\ m/s \\ &= 30\ m/s \end{aligned}$$

Kecepatan bola setelah tumbukan adalah:

$$\begin{aligned} v_1' &= -\tfrac{2}{3}\ v_1 \\ &= -\tfrac{2}{3}\ (30\ m/s) \\ &= -20\ m/s \end{aligned}$$

Perubahan momentum bola setelah dan sebelum menumbuk tanah adalah:

$$\begin{aligned} \Delta p &= p' - p \\ &= m(v_1' - v_1) \\ &= (2\ kg)\ [(-20\ m/s) - 30\ m/s] \\ &= (2\ kg)\ [-50\ m/s] \\ &= -100\ kg\ m/s \end{aligned}$$

Besarnya gaya impuls pada bola adalah:

$F \Delta t = \Delta p$

$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$

$= \frac{-100 \text{ Ns}}{0{,}1 \text{s}}$

$= -1000 \text{ N}$

Tanda negatif, berarti arah gaya berlawanan dengan arah gerak benda, arah gaya ke atas.

14. Sebuah bola bermassa 2 kg bergerak dengan kelajuan 10 m/s menumbuk bola lain yang bergerak searah dengan massa 5 kg dan memiliki kelajuan 3 m/s. Setelah tumbukan, kedua bola bergerak bersama. Pengurangan energi kinetik saat tumbukan adalah . . .

A. 20 J
B. 25 J
C. 30 J
D. 35 J
E. 50 J

Jawaban: D

- massa bola pertama, $m_1 = 2$ kg
- kecepatan bola pertama sebelum tumbukan, $v_1 = 10$ m/s
- massa bola kedua, $m_2 = 5$ kg
- kecepatan bola kedua sebelum tumbukan, $v_2 = 3$ m/s
- kecepatan kedua benda setelah tumbukan, $v_1' = v_2' = v'$

Dari hukum kekekalan momentum, diperoleh:

$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2' \rightarrow$ karena $v_1' = v_2' = v'$

$m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)\, v'$

$v' = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}$

$= \frac{(2\text{kg})(10\text{m/s}) + (5\text{kg})(3\text{m/s})}{2\text{kg} + 5\text{kg}}$

$= \frac{35 \text{ kg m/s}}{7\text{kg}}$

$= 5 \text{ m/s}.$

Pengurangan energi kinetik saat tumbukan adalah:

$\Delta Ek = Ek - Ek'$

$$= \left(\frac{1}{2}m_1 v_1^{\,2} + \frac{1}{2}m_2 v_2^{\,2}\right) - \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v'^2$$

$$= \frac{1}{2}(2kg)(10m/s)^2 + \frac{1}{2}(5kg)(3m/s)^2 - \frac{1}{2}(2kg+5kg)(5m/s)^2$$

$= 100\ J + 22{,}5\ J - 87{,}5\ J$

$= 35\ J.$

15. Gas buang roket keluar dengan laju massa 80 kg/s. kecepatan semburan gas adalah 200 m/s. gaya dorong pada roket tersebut adalah . . .

A. 2,5 N
B. 25 N
C. 160 N
D. 1600 N
E. 16000 N

Jawaban: E

- kelajuan massa gas buang, $\Delta m/\Delta t = 80$ kg/s
- kelajuan semburan gas, $v = 200$ m/s

Impuls yang dikerjakan pada benda adalah sama dengan perubahan momentum yang dialami benda, yaitu:

$I = \Delta p$

$F\,\Delta t = \Delta(mv)$

$F\,\Delta t = v\,\Delta m + m\,\Delta v$

$$F = \frac{\Delta m}{\Delta t}v + m\frac{\Delta v}{\Delta t} \rightarrow \text{karena } \Delta v/\Delta t = 0 \text{ (kecepatan semburan konstan)}$$

$$= \frac{\Delta m}{\Delta t}v$$

$= (80\ kg/s)\ (200\ m/s)$

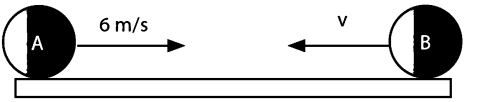
$= 16000\ kg\ m/s^2$

$= 16000\ N$

Jadi, besar gaya dorong gas pada roket tersebut sebesar 16.000 N.

LATIHAN SOAL 7

1. Benda A dan benda B masing-masing bermassa 4 kg dan 5 kg bergerak berlawanan arah seperti gambar!



Keduanya kemudian bertumbukan dan setelah tumbukan kedua benda berbalik arah dengan kecepatan A = 4 m/sdan kecepatan B = 2 m/s. Kecepatan benda B sebelum tumbukan adalah . . .

A. 6,0 m/s
B. 3,0 m/s
C. 1,6 m/s
D. 1,2 m/s
E. 0,4 m/s

2. Bola bekel bermassa 200 gram dijatuhkan dari ketinggian 80 cm tanpa kecepatan awal. Setelah menumbuk lantai, bola bekel memantul kembali dengan kecepatan 1 m/s. Besar impuls pada bola saat mengenai lantai adalah . . ..

A. 1,6 Ns
B. 1,5 Ns
C. 1,0 Ns
D. 0,8 Ns
E. 0,6 Ns

3. Sebuah bola pada permainan softball bermassa 0,15 kg dilempar horizontal ke kanan dengan kelajuan 20 m/s. Setelah dipukul, bola bergerak ke kiri dengan kelajuan 20 m/s. Impuls yang diberikan oleh kayu pemukul pada bola adalah . . .

A. 3 Ns
B. –3 Ns
C. 6 Ns
D. –6 Ns
E. 0

4. Sebuah benda bergerak dengan momentum sebesar p. Tiba-tiba benda tersebut pecah menjadi dua bagian yang masing-masing momentumnya p_1 dan p_2 dalam arah yang saling tegak lurus sehingga . . .

A. $p = p_1 + p_2$
B. $p = p_1 - p_2$
C. $p = p_2 + p_1$
D. $p = \left(p_1^2 + p_2^2\right)^{\frac{1}{2}}$
E. $p = p_1^2 + p_2^2$

5. Sebuah bola bermassa 0,2 kg dipukul dari dalam keadaan diam sehingga bola meluncur dengan laju 100 m/s . Jika pemukul menyentuh bola selama 0,1 detik, maka besar gaya pemukul adalah . . .

A. 2 N
B. 20 N
C. 50 N
D. 200 N
E. 333 N

6. Sebuah granat diam tiba-tiba meledak dan pecah menjadi dua bagian yang bergerak dalam arah yang berlawanan. Perbandingan massa kedua bagian itu adalah $m_1 : m_2 = 1 : 2$. Jika energi yang dibebaskan adalah 3×10^5 J, maka perbandingan energi kinetik pecahan granat pertama dan kedua adalah . . .

A. 1 : 1
B. 2 : 1
C. 1 : 3
D. 5 : 1
E. 7 : 5

7. Sebuah bola mempunyai massa 200 gram dilemparkan mendatar dengan kecepatan 5 m/s. Kemudian bola dipukul searah dengan arahnya. Jika lamanya bola bersentuhan dengan pemukul 1 ms dan bola setelah meninggalkan pemukul 15 m/s, maka besar gaya yang diberikan oleh pemukul adalah . . .

A. $2{,}0 \times 10^2$ N
B. $1{,}0 \times 10^3$ N
C. $2{,}0 \times 10^3$ N
D. $2{,}5 \times 10^3$ N
E. $4{,}0 \times 10^3$ N

8. Sebuah bola tenis dilepas dari ketinggian 200 m, jatuh mengenai lantai hingga terjadi tumbukan lenting sebagian. Jika e = 0,2, hitunglah tinggi pemantulan pertama yang dapat dicapai oleh bola tenis!
A. 4 m
B. 6 m
C. 8 m
D. 12 m
E. 16

9. Sebuah tongkat yang panjangnya 40 cm dan tegak di atas permukaan tanah, dijatuhi martil 10 kg dari ketinggian 50 cm di atas ujungnya. Jika gaya tahan rata-rata tanah 10^3 N, maka banyaknya tumbukan martil yang perlu dilakukan terhadap tongkat agar menjadi rata dengan permukaan tanah adalah . . .
A. 4 kali
B. 5 kali
C. 6 kali
D. 8 kali
E. 10 kali

10. Impuls yang dibutuhkan untuk menambah kecepatan sebuah mobil yang bermassa 100 kg dari 36 km/jam menjadi 108 km/jam adalah . . .
A. 1.000 Ns
B. 2.000 Ns
C. 3.000 Ns
D. 4.000 Ns
E. 5.000 Ns

11. Bola A yang bergerak lurus dan mempunyai momentum mv, menumbuk bola B yang bergerak pada garis lurus yang sama. Jika setelah tumbukan bola A mempunyai momentum –3mv, maka pertambahan momentum bola B adalah . . .
A. 2mv
B. –2mv
C. 3mv
D. –4mv
E. 4 mv

12. Dua buah benda dengan massa sama, kecepatannya masing-masing 10 m/s dan 20 m/s. Kedua benda dari arah berlawanan, bertumbukan lenting sempurna. Kecepatan masing-masing benda setelah tumbukan adalah . . .
    A. −10 m/s dan 0 m/s
    B. −20 m/s dan 10 m/s
    C. −15 m/s dan 5 m/s
    D. −5 m/s dan 15 m/s
    E. −25 m/s dan 10 m/s

13. Sebuah peluru keluar dari moncong sebuah senapan dengan kecepatan 500 m/s. Massa peluru adaalah 20 gram dan waktu kontak antara senapan dan bahu adalah 0,5 s. jika penembak hanya mampu menahan gaya sebesar 200 N, maka banyaknya peluru yang keluar secara berturut-turut dari senapan sebelum penembak terjatuh adalah . . .
    A. 10 peluru
    B. 9 peluru
    C. 8 peluru
    D. 7 peluru
    E. 6 peluru

14. Benda bermassa 10 kg bergerak diperlambat dengan perlambatan 2 m/s^2. Setelah bergerak 10 s benda berhenti. Momentum benda mula-mula adalah . . .
    A. 10 kg m/s
    B. 20 kg m/s
    C. 200 kg m/s
    D. 300 kg m/s
    E. 400 kg m/s

15. Seorang nelayan naik perahu yang bergerak dengan kecepatan 4 m/s. Massa perahu dan orang masing-masing 200 kg dan 50 kg. Pada suatu saat, orang tadi meloncat dari perahu dengan kecepatan 8 m/s searah gerak perahu. Kecepatan perahu sesaat orang tadi meloncat adalah . . .
    A. 1 m/s
    B. 2 m/s
    C. 3 m/s
    D. 4 m/s
    E. 6 m/s

16. Sebuah benda mula-mula diam, meledak menjadi 2 bagian dengan perbandingan 3 : 2. Bagian yang massanya lebih besar terlempar dengan kecepatan 20 m/s. Kecepatan terlemparnya bagian yang kecil adalah . . .
    A. 13,3 m/s
    B. 20,0 m/s
    C. 30,0 m/s
    D. 40,0 m/s
    E. 60,0 m/s

17. Bola A yang massanya 2 kg mula-mula dalam keadaan diam, kemudia bergerak ke kanan dengan percepatan 2 m/s^2. Setelah 10 detik, bola A menumbuk bola B yang sedang bergerak ke kiri dengan kecepatan 10 m/s. Jika massa B = 4 kg dan tumbukan lenting sempurna, maka kecepatan A dan B setelah tumbukan adalah . . .
    A. 20 m/s ke kiri dan 10 m/s ke kanan
    B. 20 m/s ke kiri dan 10 m/s ke kiri
    C. 20 m/s ke kanan dan 10 m/s ke kanan
    D. 10 m/s ke kiri dan 20 m/s ke kanan
    E. 10 m/s ke kiri dan 20 m/s ke kiri

18. Dua buah kelereng A dan B massanya sama. Kelereng A bergerak dengan kecepatan 3 m/s menumbuk lurus kelereng B yang dalam keadaan diam. Jika terjadi tumbukan lenting sempurna maka kecepatan kelereng A dan B setelah tumbukan berturut-turut adalah . . .
    A. 3 m/s dan 0 m/s
    B. 3 m/s dan 3 m/s
    C. 3 m/s dan 6 m/s
    D. 0 m/s dan 3 m/s
    E. 6 m/s dan 3 m/s

19. Sebuah benda massa 2 kg bergerak dengan kecepatan 0,5 m/s. Bola tersebut menumbuk benda lain bermassa 1 kg yang diam. Jika tumbukan kedua benda lenting sempurna, maka kecepatan benda pertama dan kedua sesaat sebelum tumbukan berturut-turut adalah . . .

A. $\frac{1}{2}$ m/s dan $-\frac{1}{2}$ m/s

B. $\frac{1}{6}$ m/s dan $\frac{2}{6}$ m/s

C. $\frac{2}{3}$ m/s dan $\frac{1}{6}$ m/s

D. $\frac{1}{6}$ m/s dan $\frac{2}{3}$ m/s

E. 1 m/s dan 2 m/s

20. Sebuah bola voli dijatuhkan dari ketinggian 1,5 m dari atas tanah. Jika koefisien restitusi antara bola dan tanah adalah 0,8, maka ketinggian bola pada pantulan pertama adalah . . .

A. 1,20 m

B. 1,00 m

C. 0,96 m

D. 0,80 m

E. 0,64 m

21. Sebuah benda yang massanya 5 kg dalam keadaan diam, tiba-tiba pecah menjadi 2 bagian masing-masing 2 kg dan 3 kg. Jika kecepatan bagian yang terkecil 75 m/s, maka kecepatan bagian yang besar adalah . . .

A. 75 m/s

B. 50 m/s

C. 35 m/s

D. 25 m/s

E. 10 m/s

22. Dua bola *A* dan *B* dengan massa m_A = 3 kg ; m_B = 2 kg bergerak saling mendekati dengan laju v_A = 2 m/s, v_A = 3 m/s. Jika keduanya bertumbukan secara lenting sempurna, maka laju bola *A* sesaat setelah tumbukan adalah . . .

A. 2 m/s

B. 3 m/s

C. 4 m/s

D. 10 m/s

E. 15 m/s

23. Dua benda *A* dan *B* bergerak berlawanan arah dengan laju masing-masing 4 m/s dan 1 m/s, Kedua benda bertumbukan lenting sempurna. Setelah tumbukan, kecepatan *A* dan *B* masing-masing $\frac{8}{3}$ m/s dan $\frac{2}{3}$ m/s berlawanan dengan arah semula. Jika massa B = 2 kg, maka massa *A* adalah . . .

A. 2,6 kg
B. 2,0 kg
C. 1,5 kg
D. 1,0 kg
E. 0,5 kg

24. Sebuah bola bermassa 400 gram dijatuhkan dari ketinggian 120 cm dan mengalami pemantulan pertama setinggi 90 cm. Maka koefisien restitusi dan pantulan kedua adalah . . .
A. 0,45 dan 30 cm
B. 0,75 dan 30 cm
C. 0,55 dan 60 cm
D. 0,85 dan 60 cm
E. 0,85 dan 66,5 cm

25. Peluru dengan massa 10 gram dan kecepatan 1000 m/s menembus sebuah balok dengan massa 100 kg yang diam di atas bidang datar tanpa gesekan. Jika kecepatan peluru setelah menembus balok 100 m/s, maka kecepatan balok karena tertembus peluru adalah . . .
A. 900 m/s
B. 90 m/s
C. 9 m/s
D. 0,9 m/s
E. 0,09 m/s

26. Sebuah bola yang mempunyai momentum *p* menumbuk dinding dan memantul. Tumbukan bersifat lenting sempurna dan arahnya tegak lurus. Besar perubahan momentum bola adalah...
A. nol
B. p/4
C. p/2
D. p
E. 2p

27. Bola *A* yang massanya 2 kg bergerak ke kanan dengan kecepatan 20 m/s menumbuk bola B yang sedang bergerak ke kiri dengan kecepatan 10 m/s. Jika massa *B* = 2 kg dan tumbukan lenting sempurna, maka kecepatan *A* setelah tumbukan adalah . . .
A. 20 m/s ke kiri
B. 20 m/s ke kanan
C. 10 m/s ke kanan
D. 10 m/s ke kiri
E. 5 m/s ke kiri

28. Sebuah truk yang sedang berhenti ditabrak oleh sebuah mobil yang berjalan dengan kecepatan 72 km/jam. Setelah tabrakan kedua kendaraan itu berpadu satu sama lain. Jika massa truk 1.400 kg dan massa mobil 600 kg, kecepatan kedua kendaraan setelah tabrakan adalah. . .

A. 1,5 m/s
B. 6,0 m/s
C. 8,0 m/s
D. 10,0 m/s
E. 12,0 m/s

29. Dua bola A dan B massanya masing-masing 0,6 kg dan 0,4 kg. Bola A menumbuk bola B yang diam dengan kecepatan 2 m/s. Setelah tumbukan bola A dan B menyatu dan bergerak dengan kecepatan . . . .

A. 0,8 m/s
B. 1,2 m/s
C. 1,6 m/s
D. 1,8 m/s
E. 2,0 m/s

30. Dua benda masing-masing bermassa 8 kg dan 4 kg bergerak dengan kecepatan 11 m/s dan 7 m/s. Kedua benda tersebut bergerak saling mendekati satu sama lain sehingga terjadi tumbukan. Setelah terjadi tumbukan kedua benda bergerak bersamaan saling menjauhi satu sama lain. Kecepatan benda setelah tumbukan adalah . . .

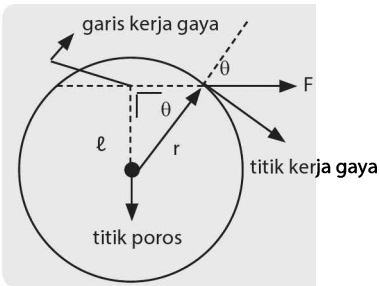
A. 5 m/s
B. 7 m/s
C. 11 m/s
D. 12 m/s
E. 60 m/s

Fisika (bahasa Yunani: fysikós, "alamiah" atau fýsis, "alam") adalah ilmu tentang alam dalam makna yang terluas.

BENDA TEGAR

8

A. MOMEN GAYA (TORSI)



Momen gaya atau ***torsi*** ($\vec{\tau}$) merupakan vektor hasil perkalian silang antara vektor posisi $\vec{r}$ dengan gaya $\vec{F}$, yang dinyatakan:

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$

dan besarnya torsi adalah:

$$\tau = r F \sin \theta$$

dengan,

τ = momen gaya (Nm)
ℓ = r sin θ = lengan gaya (m)
F = gaya (N)
θ = sudut antara vektor gaya dan vektor posisi

Momen gaya total pada benda yang disebabkan oleh dua buah gaya atau lebih yang bekerja terhadap suatu proses dirumuskan:

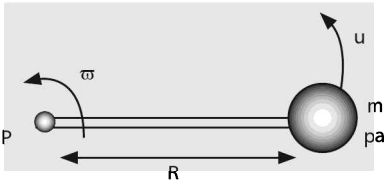
$$\sum \tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \ldots + \tau_n$$

Berdasarkan arah putarannya, momen gaya dibagi menjadi dua macam, yaitu:

- momen gaya bertanda positif, jika arah putarannya searah jarum jam.
- momen gaya bertanda negatif, jika arah putarannya berlawanan dengan arah jarum jam.

B. MOMEN INERSIA BENDA DISKRIT (PARTIKEL)

Perhatikan gambar berikut!



Nilai momen inersia sebuah partikel yang berotasi ditentukan dari hasil kali massa partikel dengan kuadrat jarak partikel tersebut dari titik pusat rotasi.

$$I = m\, r^2$$

dengan,

I = momen inersia (kg m^2)
R = jarak partikel dari titik poros/sumbu putar (m)
m = massa partikel

Benda yang terdiri atas susunan partikel (titik), jika melakukan gerak rotasi memiliki momen inersia sama dengan hasil jumlah dari momen inersia partikel penyusunnya.

$$I = \sum m_i\, r_i^2 = m_1\, r_1^2 + m_2\, r_2^2 + \ldots$$

Momen inersia tergantung pada bentuk benda, massa benda, dan letak sumbu putarnya.

C. MOMEN INERSIA BENDA TEGAR

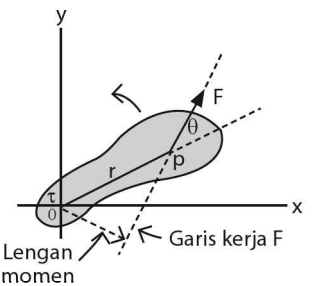
Momen inersia untuk distribusi massa kontinu dapat ditentukan dengan persamaan:

$$I = \int_0^L r^2 \, dm$$

dengan,
r = jarak elemen massa ke poros
dm = elemen massa benda tegar

D. HUBUNGAN MOMEN GAYA DAN PERCEPATAN SUDUT

Perhatikan gambar berikut!
Gaya tangensial F yang bekerja di titik P sehingga benda bergerak rotasi dengan percepatan tangensial a_t konstan. Menurut hukum II Newton, besar gaya tangensial tersebut adalah:



$F_t = ma_t$

$F_t r = ma_t r$, karena $a_t = \alpha r$

$F_t r = m r^2 \alpha$

$\tau = mr^2 \alpha = I \alpha$

dengan,
τ = momen gaya (Nm)
α = percepatan sudut
I = momen inersia (kg m^2)

m = massa benda (kg)
r = jarak dari pusat massa menuju sumbu putar (m)

E. MOMENTUM SUDUT

Momentum sudut merupakan besaran vektor. Untuk benda yang berotasi di sekitar sumbu yang tetap besarnya momentum sudut dinyatakan:

$$L = I\,\omega$$

dengan,
L = momentum sudut (kg m^2/s)
I = momen inersia (kg m^2)
ω = kecepatan sudut (rad/s)
Jika benda bermassa m bergerak rotasi pada jarak r dari sumbu rotasi dengan kecepatan linear v, maka momentum sudut dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$L = I\,\omega = m\,r^2\,\frac{v}{r} = m\,v\,r$$

Hubungan antara momentum sudut dengan momen gaya dapat diamati pada penurunan rumus berikut ini.

Dari hukum II Newton, diperoleh:

$$F = \frac{dp}{dt}$$

$$F = \frac{d(mv)}{dt}, \text{ karena } v = \omega\, r, \text{ maka :}$$

$$F = \frac{d(m\,r\,\omega)}{dt}$$

$$F = \frac{d(m\,r^2\,\omega)}{dt}, \text{ karena } F\,r = \tau \text{ dan } mr^2 = I$$

$$\tau = \frac{d(I\,\omega)}{dt}, \text{ dan } I\,\omega = L$$

$$\tau = \frac{dL}{dt}$$

F. HUKUM KEKEKALAN MOMENTUM SUDUT

Hukum kekekalan momentum sudut menyatakan: "*Jika tidak ada momen gaya yang bekerja ($\sum\tau$ = 0), maka momentum sudut benda yang berotasi adalah tetap*". Secara matematis dirumuskan:

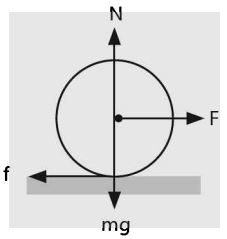
$$\sum\tau = 0$$
$$\frac{dL}{dt} = 0 \ (\text{L konstan})$$
$$L_1 = L_2$$
$$I_1\omega_1 = I_2\omega_2$$

G. GERAK MENGGELINDING

Bola yang menggelinding di atas bidang akan mengalami dua gerakan sekaligus, yaitu rotasi terhadap sumbu bola dan translasi pada bidang yang dilalui. Oleh karena itu, benda yang bergerak menggelinding memiliki persamaan rotasi dan translasi.

$$\sum\tau = I\,\alpha$$
$$\sum F = m\,a$$

a. Gerak Menggelinding pada Bidang Batar



Silinder pejal bermassa m dan berjari-jari r menggelinding sepanjang bidang datar horizontal.

Analisis gerak benda (silinder pejal)

- persamaan gerak dalam arah normal: N – mg = 0

- persamaan gerak sepanjang bidang datar: $F - f_g = ma$
- gerak rotasi terhadap pusat massanya: $\tau = I\,\alpha$
- persamaan gaya gesek untuk benda menggelinding: $f_g = \frac{Ia}{r^2}$

Persamaan gaya sepanjang bidang datar adalah:

$F - f_g = ma$

$F - \frac{Ia}{r^2} = ma \rightarrow$ karena $I = \frac{1}{2} mr^2$, maka diperoleh:

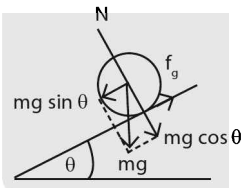
$$a = \frac{2F}{3m}$$

dengan,

a = besar percepatan translasi (m/s^2)
F = besar gaya yang bekerja (N)
m = massa benda (kg)

b. Gerak Menggelinding pada Bidang Miring

Silinder pejal bermassa m dan berjari-jari r menggelinding sepanjang bidang miring.



Analisis gerak benda:

- persamaan gerak dalam arah normal: $N - mg \cos \theta = 0$
- persamaan gerak sepanjang bidang miring: $mg \sin \theta - f_g = ma$
- gerak rotasi terhadap pusat massanya: $\tau = I\,\alpha$
- persamaan gaya gesek: $f_g = \frac{I\,a}{r^2}$

Persamaan gerak sepanjang bidang miring adalah:

$$mg\sin\theta - \frac{Ia}{r^2} = ma$$

$$a = \frac{mg\sin\theta}{m + \frac{I}{r^2}} \rightarrow \text{untuk silinder pejal } (I = \tfrac{1}{2} mr^2), \text{ maka:}$$

$$a = \frac{2}{3} g \sin\theta$$

Kelajuan benda yang menggelinding saat sampai di dasar bidang miring dapat ditentukan dengan rumus:

$$v = \sqrt{\frac{2gh}{1+k}}$$

dengan,

v = kecepatan linear benda saat sampai di dasar bidang
h = selisih tinggi vertikal puncak bidang miring dengan lantai
k = bilangan real yang diperoleh dari rumus inersia benda

- silinder pejal, $I = \tfrac{1}{2} mr^2 \rightarrow k = \tfrac{1}{2}$
- bola pejal, $I = \tfrac{2}{5} m r^2 \rightarrow k = \tfrac{2}{5}$
- bola berongga, $I = \tfrac{2}{5} m r^2 \rightarrow k = \tfrac{2}{5}$

H. ENERGI KINETIK ROTASI

Energi kinetik translasi (linear) dinyatakan dengan:

$$Ek_{trans} = \tfrac{1}{2} mv^2$$

Jika $v = \omega r$, energi kinetik rotasinya adalah:

$$Ek_{rot} = \tfrac{1}{2} m (\omega r)^2$$

$$Ek_{rot} = \frac{1}{2} mr^2 \omega^2$$

$$Ek_{rot} = \frac{1}{2} I \omega^2$$

Pada benda tegar bergerak translasi sambil berotasi, energi kinetik totalnya sama dengan jumlah energi kinetik translasi dan energi kinetik rotasinya.

$$Ek = Ek_{trans} + Ek_{rot}$$
$$Ek = \frac{1}{2} mv^2 + \frac{1}{2} I \omega^2$$

dengan,
m = massa benda (kg)
v = laju linear (m/s)
ω = laju sudut (rad/s)
r = jari-jari lintasan (m)
I = momen inersia (kg m^2)

I. KESETIMBANGAN PARTKEL

Syarat kesetimbangan statis partikel:

$$\sum F = 0 \rightarrow \sum F_x = 0 : \sum F_y = 0$$

J. KESETIMBANGAN BENDA TEGAR

Suatu benda tegar dikatakan setimbang bila memenuhi syarat berikut.

$$\sum F = 0 \rightarrow \sum F_x = 0 : \sum F_y = 0 \text{ dan } \sum \tau = 0$$

K. TITIK BERAT

Titik berat adalah titik tangkap resultan dari seluruh gaya berat yang bekerja pada setiap bagian/partikel penyusun benda.

Koordinat titik berat (x_0, y_0) dari setiap partikel dapat ditentukan dengan rumus berikut.

$$x_0 = \frac{\sum w_i x_i}{\sum w_i} \text{ dan } y_0 = \frac{\sum w_i y_i}{\sum w_i}$$

Jika percepatan gravitasi tidak berbeda pada setiap bagian partikel, maka pusat berat berimpit dengan pusat massa, sehingga koordinat pusat massa/titik berat adalah:

$$x_0 = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i} \text{ dan } y_0 = \frac{\sum m_i y_i}{\sum m_i}$$

Untuk benda-benda berbentuk garis pada benda satu dimensi, massa benda dianggap diwakili oleh panjang. Titik berat benda (x_0, y_0) dapat ditentukan dengan rumus berikut.

$$x_0 = \frac{\sum \ell_i x_i}{\sum \ell_i} \text{ dan } y_0 = \frac{\sum \ell_i y_i}{\sum \ell_i}$$

dengan, ℓ = panjang.

Titik berat benda homogen dua dimensi (benda bidang) adalah sebagai berikut.

$$x_0 = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i} \text{ dan } y_0 = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i}$$

dengan, A = luas.

Titik berat benda homogen tiga dimensi (benda ruang) adalah sebagai berikut.

$$x_0 = \frac{\sum V_i x_i}{\sum V_i} \quad \text{dan} \quad y_0 = \frac{\sum V_i y_i}{\sum V_i}$$

dengan, V = volume.

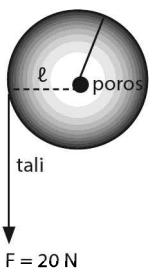
CONTOH SOAL DAN PEMBAHASAN

1. Sebuah cakram berjari-jari 30 cm berputar pada sebuah poros mendatar. Di sekeliling cakram dililitkan seutas tali. Ujung tali ditarik dengan gaya yang besarnya tetap 20 N. Besar momen gaya pada cakram adalah . . .

   A. 1,5 Nm
   B. 3,0 Nm
   C. 4,5 Nms
   D. 6,0 Nm
   E. 7,5 Nm

   Jawaban: D

   - jari-jari cakram, r = 30 cm = 0,3 m
   - gaya tarik pada tali, F = 20 N

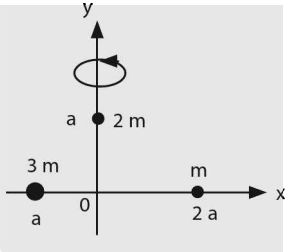
   Momen gaya pada cakram adalah

   $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$

   Besar momen gaya pada cakram adalah:

   $\tau = r F \sin \theta$
   $= (0{,}3 \text{ m})\ (20 \text{ N})\ (\sin 90°)$
   $= (0{,}3 \text{ m})\ (20 \text{ N})\ (1)$
   $= 6{,}0 \text{ Nm}.$

2. Tiga buah partikel dengan massa m, 2m, dan 3m dipasang pada ujung kerangka yang massanya diabaikan. Sistem terletak pada bidang xy. Jika sistem diputar terhadap sumbu y, momen inersia sistem adalah . . .



A. $5ma$
B. $7a$
C. $5ma^2$
D. $6ma^2$
E. $7ma^2$

Jawaban: E

- massa partikel-1, $m_1 = m \rightarrow$ posisi $(2a, 0)$
- massa partikel-2, $m_2 = 2m \rightarrow$ posisi $(0, a)$
- massa partikel-3, $m_3 = 3m \rightarrow$ posisi $(-a, 0)$

Sistem diputar terhadap sumbu-y, maka momen inersia sistem partikel tersebut adalah:

$I_y = \sum m_i r_i^2$

$I = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^3$

$= (m)(2a)^2 + (2m)(0)^2 + (3m)(-a)^2$

$= 4ma^2 + 0 + 3ma^2$

$= 7ma^2$.

3. Batang AB massa 2 kg diputar melalui titik A memiliki momen inersianya 8 kg.m^2. Bila diputar melalui titik pusat O (AO = OB), momen inersianya menjadi . . .

A. 2 kg m^2
B. 4 kg m^2
C. 8 kg m^2
D. 12 kg m^2
E. 16 kg m^2

Jawaban: A

- Momen inersia batang homogen terhadap pusat massa, $I = \frac{1}{12} m\ell^2$

- Momen inersia batang homogen terhadap ujung, $I = \frac{1}{3} m \ell^2$
- massa batang, m = 2 kg
- momen inersia batang terhadap titik A, I_A = 8 kg m^2.
- panjang d = AO = OB = ½ ℓ

Panjang batang tersebut adalah:

$$I_A = \frac{1}{3} m \ell^2$$

$$\ell = \sqrt{\frac{3I_A}{m}}$$

$$= \sqrt{\frac{3(8 \text{kgm}^2)}{2 \text{kg}}}$$

$$= 12 \text{ m}.$$

Momen inersia terhadap titik pusat O adalah:

$I_A = I_{PM} + md^2$

$I_{PM} = I_A - md^2$

$= (8 \text{ kg m}^2) - (2 \text{ kg})(\frac{1}{2} \ell)^2$

$= (8 \text{ kg m}^2) - \frac{1}{2} (\sqrt{12})^2 \text{ kg m}^2$

$= 8 \text{ kg m}^2 - 6 \text{ kg m}^2$

$= 2 \text{ kg m}^2$.

Cara lain!!

Momen inersia batang bila diputar melalui titik pusat massa adalah:

$$I_{PM} = \frac{1}{12} m \ell^2$$

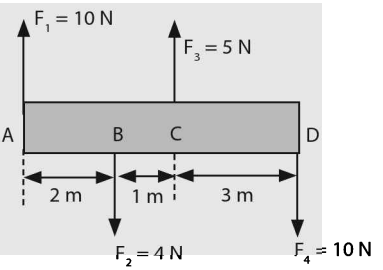
$$= \frac{1}{4} \left(\frac{1}{3} m \ell^2 \right)$$

$$= \frac{1}{4} I_A$$

$$= \frac{1}{4} \left(8 \text{ kg.m}^2 \right)$$

$$= 2 \text{ kg m}^2$$

4. Gaya F_1, F_2, F_3, dan F_4 bekerja pada batang ABCD seperti gambar.



Jika massa batang diabaikan, maka nilai momen gaya terhadap titik A adalah . . .

A. 15 Nm
B. 18 Nm
C. 53 Nm
D. 63 Nm
E. 68 Nm

Jawaban: C

- momen gaya positif bila arah putarannya searah jarum jam
- momen gaya negatif bila arah putarannya berlawanan arah dengan arah jarum jam

Massa batang diabaikan, maka momen gaya terhadap titik A adalah:

$$\begin{aligned}\Sigma\tau_A &= (\tau_B + \tau_D) - \tau_C \\ &= (F_2\ell_2 + F_4\ell_4) - F_3\ell_3 \\ &= \{(4\ \text{N} \times 2\ \text{m}) + (10\ \text{N} \times 6\ \text{m})\} - 5\ \text{N} \times 3\ \text{m} \\ &= \{8\ \text{Nm} + 60\ \text{Nm}\} - 15\ \text{Nm} \\ &= 68\ \text{Nm} - 15\ \text{Nm} \\ &= 53\ \text{Nm}.\end{aligned}$$

5. Sebuah gaya $\vec{F} = \left(5\hat{i} + 9\check{j}\right)$ N mempunyai lengan momen $\vec{r} = \left(a\check{i} + 2\check{j}\right)$ m terhadap satu titik poros. Vektor i dan j berturut-turut adalah vektor satuan yang searah sumbu x dan sumbu y pada koordinat kartesian. Bila besar momen yang dilakukan gaya F terhadap titik poros 26 Nm, nilai a adalah . . .

A. 3
B. 4
C. 7
D. 8
E. 12

Jawaban: B

- lengan momen, $\vec{r} = \left(a\check{i} + 2\check{j}\right)$ m
- vektor gaya, $\vec{F} = \left(5\hat{i} + 9\check{j}\right)$ N

Momen gaya yang dilakukan gaya F terhadap titik porosnya adalah:

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} = \begin{vmatrix} \check{i} & \check{j} & \check{k} \\ a & 2 & 0 \\ 5 & 9 & 0 \end{vmatrix}$$

$$= 0\,\hat{i} + 0\,\hat{j} + (9a - 10)\,\hat{k}$$

Besar momen gaya yang dilakukan adalah:

$$\tau = \sqrt{\tau_x^{\,2} + \tau_y^{\,2} + \tau_z^{\,2}}$$

$$\tau = \sqrt{0 + 0 + \tau_z^{\,2}}$$

$26 = \tau_z$
$26 = 9a - 10$
$9a = 36$
$a = 4.$

6. Sebuah benda berotasi dengan momen inersia $2{,}5 \times 10^{-3}$ kg m^2 dan kecepatan sudut awal 7,5 rad/s. Agar benda itu berhenti dalam selang waktu 2,5 sekon, besar momen gaya yang harus dikerjakan adalah . . .

A. $2{,}5 \times 10^{-4}$ Nm
B. $7{,}5 \times 10^{-4}$ Nm
C. $5{,}0 \times 10^{-3}$ Nm
D. $7{,}5 \times 10^{-3}$ Nm
E. $2{,}5 \times 10^{-2}$ Nm

Jawaban: D

- momen inersia, $I = 2{,}5 \times 10^{-3}$ kg m^2
- kecepatan sudut awal, $\omega_0 = 7{,}5$ rad/s

- selang waktu, $\Delta t = 2{,}5$ s

Percepatan sudut pada benda selama berputar sampai berhenti ($\omega = 0$) adalah:

$\omega = \omega_0 + \alpha \Delta t$

$0 = 7{,}5 \text{ rad/s} + \alpha (2{,}5 \text{ s})$

$\alpha = -3 \text{ rad/s}^2 \rightarrow$ (tanda negatif, berarti benda mengalami perlambatan)

Besar momen inersia yang harus dikerjakan pada benda tersebut adalah:

$\tau = I \alpha$

$= (2{,}5 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2)\ (3 \text{ rad/s}^2)$

$= 7{,}5 \times 10^{-3}$ Nm.

7. Sebuah partikel bermassa 0,2 gram bergerak melingkar dengan kecepatan sudut tetap 10 rad/s. Jika jari-jari lintasan partikel 3 cm, momentum sudut partikel itu adalah . . .

A. 3×10^{-7} kg m^2/s
B. 9×10^{-7} kg m^2/s
C. $1{,}8 \times 10^{-6}$ kg m^2/s
D. $1{,}8 \times 10^{-4}$ kg m^2/s
E. $4{,}5 \times 10^{-3}$ kg m^2/s

Jawaban: C

- massa partikel, 0,2 gram $= 2 \times 10^{-4}$ kg
- kecepatan sudut, $\omega = 10$ rad/s
- jari-jari lintasan, $r = 3$ cm $= 3 \times 10^{-2}$ m

Momentum sudut partikel tersebut adalah:

$L = I \omega$

$= m r^2 \omega$

$= (2 \times 10^{-4} \text{ kg}) (3 \times 10^{-2} \text{ m})^2 (10 \text{ rad/s})$

$= (2 \times 10^{-4} \text{ kg}) (9 \times 10^{-4} \text{ m}^2) (10 \text{ rad/s})$

$= 18 \times 10^{-7}$ kg m^2/s

$= 1{,}8 \times 10^{-6}$ kg m^2/s

8. Sebuah cakram yang momen inersianya $I_1 = 20$ kg m^2 berputar dengan kecepatan sudut $\omega_1 = 40$ rad/s. Kemudian cakram kedua yang mula-mula diam dengan momen inersia $I_2 = 5$ kg m^2 digabungkan pada

sumbu yang sama dengan cakram pertama. Kecepatan sudut (ω_2) kedua cakram sekarang adalah . . .

A. 160 rad/s
B. 64 rad/s
C. 45 rad/s
D. 32 rad/s
E. 2,5 rad/s

Jawaban: D

- momen inersia cakram-1, $I_1 = 20$ kg m^2.
- kecepatan sudut cakram-1, $\omega_1 = 40$ rad/s
- momen inersia cakram-2, $I_2 = 5$ kg m^2.

Kedua cakram dihubungkan dengan sumbu yang sama dan berputar bersama-sama, maka berlaku hukum kekekalan momentum sudut, yaitu:

$L_{awal} = L_{akhir}$
$I_1 \omega_1 = (I_1 + I_2) \omega$
(20 kg m^2) (40 rad/s) = ([20 + 5] kg m^2) ω
800 rad/s = 25 ω
ω = 32 rad/s.

9. Seorang penari balet berputar dengan tangan terentang di atas lantai licin. Kecepatan sudut (ω) penari tersebut 1,5 putaran per sekon dan momen inersianya (I) 6 kg m^2. Bila kemudian kedua tangannya dilipat menyilang di dadanya, pasangan dari ω dan I yang mungkin pada kondisi tersebut adalah . . .

	ω (putaran/s)	I (kg m^2)
A.	1	9
B.	2	4,5
C.	3	4,0
D.	4	3,5
E.	5	3,0

Jawaban: B

- kecepatan sudut saat tangan terentang, $\omega_1 = 1{,}5$ putaran/s = 1,5 $\times 2\pi$ rad/s = 3π rad/s

- momen inersia saat tangan terentang, $I_1 = 6$ kg m^2

Saat kedua tangan penari dilipat menyilang dan berputar (lantai licin) berlaku hukum kekekalan momentum sudut, yaitu:

$L_1 = L_2$

$I_1 \omega_1 = I_2 \omega_2$

$6 \times 3\pi = I_2 \omega_2$

$I_2 \omega_2 = 18\pi$ ... (i)

Keadaan tangan dilipat menyilang di dada, maka:

- I_2 harus lebih kecil dari I_1
- ω_2 harus lebih besar dari ω_1

Berdasarkan tabel pada soal, maka pasangan ω dan I yang mungkin adalah:

ω_2 = 2 putaran per sekon

$= 2 \times 2\pi$ rad/s

$= 4\pi$ rad/s ... (ii)

Dari pers. (i) dan (ii) diperoleh:

$I_2\ 4\pi$ rad/s $= 18\pi$

$I_2 = 4{,}5$ kg m^2.

10. Sebuah silinder pejal dengan massa m dan berjari-jari R bergerak mengelinding dengan kelajuan v. Energi kinetik totalnya adalah ... joule.

A. $\frac{1}{2}mv^2$
B. $\frac{3}{4}mv^2$
C. mv^2
D. $\frac{3}{2}mv^2$
E. $2\ mv^2$

Jawaban: B

- jari-jari silinder pejal = R
- kecepatan linear silinder pejal = v
- kecepatan sudut silinder pejal, $\omega = v/R$
- momen inersia silinder pejal, $I = \frac{1}{2}\ mR^2$

Silinder pejal bergerak sambil berputar, maka energi kinetik totalnya adalah:

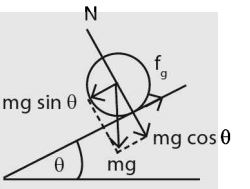
$$
\begin{aligned}
Ek &= Ek_{trans} + Ek_{rot} \\
&= \tfrac{1}{2}mv^2 + \tfrac{1}{2}I\ \omega^2 \\
&= \tfrac{1}{2}mv^2 + \tfrac{1}{2}\left(\tfrac{1}{2}mR^2\right)\left(v/R\right)^2 \\
&= \tfrac{1}{2}mv^2 + \tfrac{1}{4}mv^2 \\
&= \tfrac{3}{4}mv^2
\end{aligned}
$$

11. Sebuah silinder pejal ($I = \frac{1}{2} mr^2$) dilepas tanpa kecepatan awal dari puncak suatu bidang miring yang kasar tanpa slip, serta kemiringannya membuat sudut θ terhadap bidang horizontal. Jika percepatan gravitasi g maka silinder tersebut akan . . .
    A. meluncur dengan percepatan g sin θ
    B. menggelinding dengan percepatan g sin θ
    C. meluncur dengan percepatan ½ g sin θ
    D. menggelinding dengan percepatan ½ g sin θ
    E. menggelinding dengan percepatan 2/3 g sin θ

    Jawaban: E

    - silinder pejal $\rightarrow I = \frac{1}{2} mr^2$
    - kecepatan awal, $\omega_0 = 0$
    - bidang miring kasar, dengan kemiringan terhadap horizontal $= \theta$

    Gerak translasi:
    $\sum F_y = 0 \Leftrightarrow N - mg\cos\theta = 0$
    $\sum F_x = ma$
    $mg\sin\theta - f_g = ma \quad \ldots \text{(i)}$

    Gerak rotasi:
    $\tau = I\alpha$
    $f_g\, r = I\alpha$

    Momen inersia silinder pejal $I = \frac{1}{2} mr^2$ dan $\alpha = a/r$, maka :

$$
\begin{aligned}
f_g\ r &= \left(\tfrac{1}{2}mr^2\right)\left(\frac{a}{r}\right) \\
f_g &= \tfrac{1}{2}m\,a
\end{aligned}
$$

Silinder pejal menggelinding sepanjang bidang miring, dari persamaan (i) dan (ii), diperoleh:

$mg \sin \theta - f_g = ma$

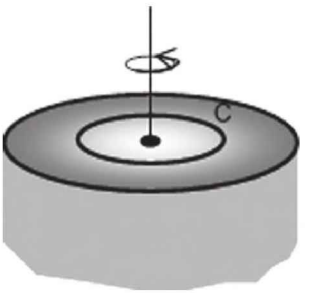
$mg \sin \theta - \frac{1}{2} ma = ma$

$\frac{3}{2} ma = mg \sin \theta$

$a = \frac{3}{2} g \sin\theta$.

Jadi, silinder pejal menggelinding menuruni bidang miring dengan percepatan $\frac{3}{2} g \sin\theta$.

12. Sebuah piringan berbentuk silinder pejal homogen mula-mula berputar pada porosnya dengan kecepatan sudut 9 rad/s. Bidang piringan sejajar bidang horizontal. Massa dan jari-jari piringan 0,6 kg dan 0,2 m. Di atas piringan diletakkan cincin yang mempunyai massa 0,6 kg dan jari-jari 0,1 m. Pusat cincin tepat di atas pusat piringan, maka piringan dan cincin akan bersama-sama berputar dengan kecepatan sudut . . .



A. 2 rad/s
B. 3 rad/s
C. 4 rad/s
D. 5 rad/s
E. 6 rad/s

Jawaban: E

- massa piringan silinder pejal pertama, $m_1 = 0{,}6$ kg
- jari-jari piringan silinder pejal pertama, $r_1 = 0{,}2$ m
- kecepatan sudut piringan silinder pejal pertama, $\omega_1 = 9$ rad/s.
- massa piringan silinder pejal kedua, $m_2 = 0{,}6$ kg
- jari-jari piringan silinder pejal pertama, $r_2 = 0{,}1$ m

Piringan silinder dan cincin berputar bersama-sama, maka berlaku hukum kekekalan momentum sudut, yaitu:

$L_{awal} = L_{akhir}$

$I_{silinder}\, \omega_1 = (I_{silinder} + I_{cincin})\, \omega$

$\frac{1}{2} m_1 r_1^2 \omega_1 = (\frac{1}{2} m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2) \omega$

$\frac{1}{2} \times 0.6 \times (0,2)^2 \times 9 = \{\frac{1}{2} \times 0.6 \times (0,2)^2 + 0,6 \times (0,1)^2\} \omega$

$1,08 \times 10^{-1} = \{1,2 \times 10^{-2} + 0,6 \times 10^{-2}) \omega$

$1,08 \times 10^{-1} = 1,8 \times 10^{-2} \omega$

$\omega = 6$ rad/s.

Jadi, piringan dan cincin akan bersama-sama berputar dengan kecepatan 6 rad/s.

13. Sebuah bola pejal menggelinding tanpa selip pada bidang miring dengan sudut kemiringan θ. Percepatan linear bola tersebut jika diketahui percepatan gravitasinya g adalah . . .

A. $\frac{3}{2} g \sin \theta$

B. $\frac{1}{4} g \sin \theta$

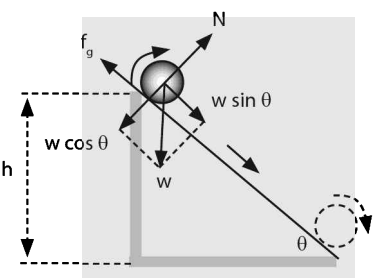
C. $\frac{1}{3} g \sin \theta$

D. $\frac{5}{7} g \sin \theta$

E. $g \sin \theta$

Jawaban: D

- bola pejal menggelinding pada bidang miring licin
- percepatan gravitasi = g
- momen inersia bola pejal, $I = \frac{2}{5} m r^2$



Gerak translasi:

$w \sin \theta - f_g = ma$

$mg \sin \theta - f_g = ma$ . . . (i)

Gerak rotasi:

$\tau = I \alpha$

$f_g r = I \alpha$

Momen inersia bola pejal $I = \frac{2}{5} mr^2$ dan $\alpha = a/r$, maka:

$$f_g \ r = \left(\tfrac{2}{5} mr^2\right)\left(\frac{a}{r}\right)$$

$f_g = \frac{2}{5} ma$

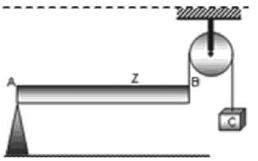
Dari persamaan (ii) dan (i), diperoleh:

$mg \sin \theta - \frac{2}{5} ma = ma$

$\frac{7}{5} ma = mg \sin \theta$

$a = \frac{5}{7} g \sin \theta$.

14. Perhatikan gambar berikut!



Balok AB = 5 m, BZ = 1 m (Z = titik berat balok). Jika berat balok 100 N, berat beban C adalah . . .

A. 40 N
B. 60 N
C. 80 N
D. 90 N
E. 92 N

Jawaban: C

- panjang AB = 5 m
- panjang BZ = 1m (Z titik berat balok homogen)
- berat balok, w_b = 100 N

Ketika sistem dalam keadaan setimbang, maka berlaku:

$\sum \tau_A = 0$

$w_b (AZ) - w_C (AB) = 0$

(100 N) ([5 – 1]m) – w_C (5 m) = 0

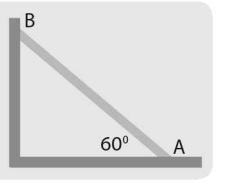
400 – 5 w_C = 0

5 w_C = 400 N

w_C = 80 N.

Jadi, agar sistem berada dalam keadaan setimbang berat beban C adalah 80 N.

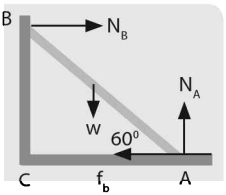
15. Batang AB homogen, panjang 12 m, berat 200 N bersandar pada dinding vertikal licin di B dan bertumpu pada lantai horizontal di A yang kasar. Batang membentuk sudut 60° di A. Jika batang



tepat akan menggeser, maka besar koefisien gesekan di A adalah . . .

A. $\frac{1}{6}\sqrt{2}$
B. $\frac{1}{6}\sqrt{3}$
C. $\frac{1}{3}\sqrt{3}$
D. $\frac{1}{2}\sqrt{3}$
E. $\frac{2}{3}\sqrt{3}$

Jawaban : B



- panjang batang homogen AB = 12 m
- berat batang homogen, w = 200 N
- AC = AB cos 60° = (12 m) (½) = 6 m
- BC = AB sin 60° = (12 m) (½ $\sqrt{3}$) = 6 $\sqrt{3}$ m

Syarat batang berada dalam keadaan setimbang adalah:

- $\sum F_x = 0 \Leftrightarrow N_B - f_g = 0 \Leftrightarrow N_B = f_g$ . . . (i)
- $\sum F_y = 0 \Leftrightarrow N_A - w = 0 \Leftrightarrow N_A = w = 200\ N$ . . . (ii)

Dari persamaan (i) dan (ii), diperoleh:

- $f_g = N_B \Leftrightarrow \mu_g N_A = N_B \Leftrightarrow \mu_g = \frac{N_B}{N_A} = \frac{N_B}{200}$ . . . (iii)

Syarat batang berada dalam kesetimbangan adalah:

$\sum \tau_A = 0$

$N_B (BC) - w (½\ AC) = 0$

$N_B (6\sqrt{3}\ m) - (200\ N)(3\ m) = 0$

$$N_B = \frac{600\ Nm}{6\sqrt{3}\ m} = \frac{100}{\sqrt{3}\ m} N \quad \ldots (iv)$$

Dari persamaan (iii) dan (iv) diperoleh nilai koefisien gesek antara lantai dan batang adalah:

$$\mu_g = \frac{N_B}{N_A} \Leftrightarrow = \frac{\left(\frac{100}{\sqrt{3}}\right)}{200} \Leftrightarrow = \frac{1}{2\sqrt{3}}$$

$$= \frac{1}{6}\sqrt{3}$$

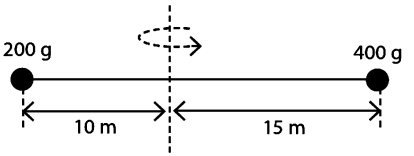
LATIHAN SOAL 8

1. Momen inersia sebuah benda yang berotasi terhadap titik tetap dipengaruhi oleh . . .
   A. massa benda
   B. volume benda
   C. massa jenis benda
   D. percepatan sudut benda
   E. massa benda

2. Sebuah roda mula-mula diam, lalu bergerak dengan percepatan sudut konstan 5 radian/s^2. Kecepatan angulernya 10 detik kemudian adalah . . .
   A. 10 rad/s
   B. 20 rad/s
   C. 30 rad/s
   D. 40 rad/s
   E. 50 rad/s

3. Sebuah benda berotasi dengan kecepatan sudut awal 6 rad/s. Agar benda berhenti dalam waktu 2 s, momen gaya sebesar 3×10^{-3} Nm bekerja pada benda tersebut. Momen inersia benda sebesar . . .
   A. 1×10^{-3} kg/m^2
   B. 2×10^{-3} kg/m^2
   C. 6×10^{-3} kg/m^2
   D. 1×10^{-2} kg/m^2
   E. 3×10^{-2} kg/m^2

4. Dua buah bola yang dihubungkan kawat (massa kawat diabaikan) disusun seperti gambar.



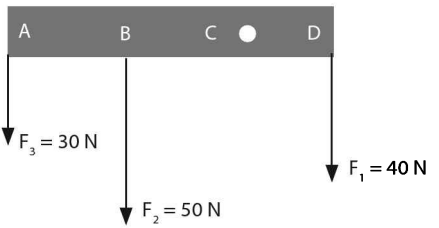
Besar momen inersia adalah . . .

A. $5{,}5 \times 10^{-2}\ \text{kgm}^2$
B. $5{,}5 \times 10^{-3}\ \text{kgm}^2$
C. $1{,}1 \times 10^{-3}\ \text{kgm}^2$
D. $1{,}1 \times 10^{-2}\ \text{kgm}^2$
E. $1{,}1 \times 10^{-1}\ \text{kgm}^2$

5. Sebuah jarum jam dinding memiliki massa 3 gram dan panjang 15 cm. Jika $I_{jarum} = mR^2$, maka momentum sudut jarum detik pada jam dinding tersebut adalah . . .

A. $2{,}25\pi \times 10^{-6}\ \text{kgm}^2$
B. $2{,}50\pi \times 10^{-6}\ \text{kgm}^2$
C. $3{,}50\pi \times 10^{-6}\ \text{kgm}^2$
D. $3{,}75\pi \times 10^{-5}\ \text{kgm}^2$
E. $4{,}25\pi \times 10^{-5}\ \text{kgm}^2$

6. Perhatikan gambar berikut!



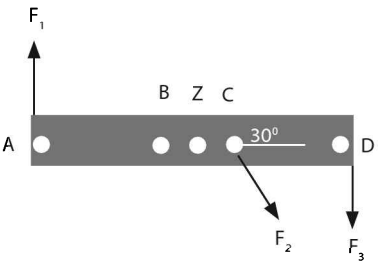
Jika AB = BD = 2 m dan DC = 1 m, maka momen gaya di titik A adalah . . .

A. 100 Nm
B. 120 Nm
C. 300 Nm
D. 260 Nm
E. 280 Nm

7. Sumbu kedua roda depan dan sumbu kedua roda belakang sebuah truk yang bermassa 1500 kg dan berjarak 2 m antara satu sama lain. Pusat massa truk 1,5 m di belakang roda depan. Beban yang dipikul oleh kedua roda muka truk itu adalah . . . ($g = 10\ \text{m/s}^2$)

A. 1250 N
B. 2500 N
C. 3750 N
D. 5000 N
E. 6250 N

8. Pada batang yang massanya 2 kg dan panjang 100 cm bekerja tiga gaya masing-masing $F_1 = 2$ N, $F_2 = 4$ N, dan $F_3 = 5$ N.



Jarak BD = 60 cm, BC = 20 cm, dan titik pusat massa di titik Z. Momen gaya terhadap titik B adalah . . . ($g = 10$ m/s^2)

A. 0,4 Nm
B. 0,8 Nm
C. 4,2 Nm
D. 4,6 Nm
E. 6,2 Nm

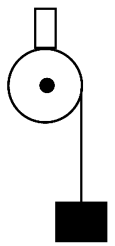
9. Suatu batang tipis dengan panjang L dan massa m berputar pada sumbu yang terletak di ujung batang. Pada awalnya batang berada pada posisi horizontal dan kemudian dilepas. Pada saat batang membuat sudut θ dengan arah vertikal, percepatan sudut rotasi batang adalah . . .

A. $\frac{g}{L}$
B. $\frac{3g\sin\theta}{2L}$
C. $\frac{3g}{L\cos\theta}$
D. $\frac{3g\cos\theta}{2L}$
E. $\frac{6g}{L\sin\theta}$

10. Sebuah roda cincin memiliki massa 8 kg dengan momen inersia 0,5 kgm^2. Jari-jari girasi roda tersebut terhadap porosnya adalah . . .

A. 25 m
B. 20 m
C. 16 m
D. 2 m
E. 0,25 m

11. Sebuah piringan berbentuk silinder pejal homogen mula-mula berputar pada porosnya dengan kecepatan sudut 9 rad/s. Bidang piringan sejajar bidang horizontal. Massa dan jari-jari piringan 0,6 kg dan 0,2 m. Jika di atas piringan diletakkan cincin yang mempunyai massa dan jari-jari 0,6 kg dan 0,1 m serta pusat cincin tepat di atas pusat piringan, maka piringan dan cincin akan bersama-sama berputar dengan kecepatan sudut . . .
A. 2 rad/s
B. 3 rad/s
C. 4 rad/s
D. 5 rad/s
E. 6 rad/s

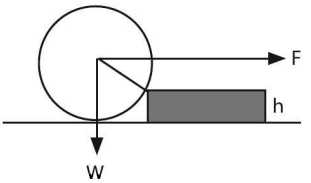
12. 

Perhatikan gambar berikut!
Pada sistem control seperti gambar di samping, katrol berbentuk lempeng pejal homogenya bermassa 2M jejari R, dan beban bermassa M. Tali tanpa massa dililitkan pada katrol dan semua gesekan diabaikan. Sistem dilepas sehingga bergerak dari keadaa diam. Percepatan sudut rotasi katrol dinyatakan dalam percepatan gravitasi g besarnya . . .

A. $\frac{8g}{R}$
B. $\frac{4g}{R}$
C. $\frac{2g}{R}$
D. $\frac{g}{R}$
E. $\frac{g}{2R}$

13. Sebuah roda gila bermassa 20 kg dan jari-jarinya 5 cm. Hitunglah momen inersianya!
A. 2×10^{-1} kg m^2
B. 3×10^{-2} kg m^2
C. 1×10^{-2} kg m^2
D. 4×10^{-2} kg m^2
E. 5×10^{-2} kg m^2

14. Perhatikan gambar berikut!



Sebuah roda akan dinaikkan pada anak tangga seperti pada gambar. Jika jari-jari = R, berat roda = W, tinggi anak tangga = h, maka gaya F minimum yang dibutuhkan agar roda tersebut dapat naik adalah . . .

A. $W(R - h)$

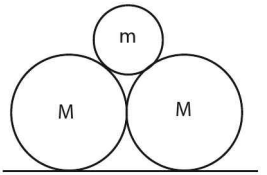
B. $\frac{W(2Rh - h^2)^{\frac{1}{2}}}{R - h}$

C. $W(2Rh - h^2)$

D. $\frac{W(R - h)}{R}$

E. $\frac{Wh}{R - h}$

15. Perhatikan gambar berikut.



Tiga buah bola masing-masing berjari-jari 30 cm, 30 cm, dan 20 cm disusun seperti gambar dengan bola kecil berada diatas kedua bola besar. Massa bola kecil sebesar m, massa bola besar sebesar M, percepatan gravitasi g. Besar gaya yang dikerjakan oleh salah satu bola besar pada bola kecil adalah . . .

A. $\frac{5\ mg}{8}$

B. $\frac{3\ Mg}{8}$

C. $\frac{2\ Mg}{5}$

D. $\frac{3\ Mg}{5}$

E. $\frac{2\ (M+m)g}{5}$

16. Sebuah benda berotasi dengan momen inersia $2{,}5 \times 10^{-3}$ kgm^2 dan kecepatan sudut awal 5 rad/s. Agar benda itu berhenti dalam waktu 2,5 s, maka besar momen gaya yang harus dikerjakan adalah . . .
    A. $2{,}5 \times 10^{-4}$ Nm
    B. $7{,}5 \times 10^{-4}$ Nm
    C. $5{,}0 \times 10^{-3}$ Nm
    D. $7{,}5 \times 10^{-3}$ Nm
    E. $2{,}5 \times 10^{-2}$ Nm

17. Batu gerinda berjari-jari 6 cm berputar pada porosnya sehingga menghasilkan momen inersia $2{,}7 \times 10^{-3}$ kgm^2. Massa batu gerinda tersebut adalah . . .
    A. 0,75 kg
    B. 1,13 kg
    C. 1,50 kg
    D. 1,75 kg
    E. 2,25 kg

18. Dari keadaan diam, benda tegar melakukan gerak rotasi dengan percepatan sudut 15 rad/s^2. Titik *A* berada pada benda tersebut., berjarak 10 cm dari sumbu putar. Tepat setelah benda berotasi selama 0,4 s, titik *A* mengalami percepatan total sebesar . . .
    A. 1,5 m/s^2
    B. 2,1 m/s^2
    C. 3,6 m/s^2
    D. 3,9 m/s^2
    E. 5,3 m/s^2

19. Setelah berotasi selama 3 s, benda memiliki kecepatan 5 rad/s. Gerak rotasinya memiliki percepatan 1 rad/s^2, titik B berada pada benda 10 cm dari sumbu rotasi. Pada awal pengamatan, B memiliki percepatan . . .
    A. 0,1 m/s^2
    B. 0,4 m/s^2
    C. 0,9 m/s^2
    D. 2,5 m/s^2
    E. 4,0 m/s^2

20. Sebuah bola homogen massanya M dengan jari-jari R, berputar dengan kecepatan sudut ω pada sebuah sumbu melalui titik pusatnya. Besar energi kinetik rotasinya adalah. . .

A. $\frac{1}{2}MR^2$

B. $\frac{2}{5}MR^2$

C. $\frac{1}{2}I\omega^2$

D. $\frac{2}{5}I^2\omega$

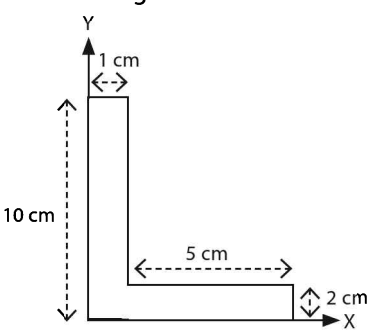
E. $\frac{1}{2}M^2\omega$

21. Roda mesin bermassa 5 kg berputar dengan kecepatan sentripetal $20\pi^2$ m/s^2. Besar gaya sentripetal pada roda adalah . . .
    A. $20\pi^2$ N
    B. $30\pi^2$ N
    C. $100\pi^2$ N
    D. $120\pi^2$ N
    E. $600\pi^2$ N

22. Jika $\sum F$ adalah resultan gaya dan $\sum\tau$ adalah resultan momen gaya, maka syarat kesetimbangan benda tegar adalah . . .
    A. $\sum F = 0$ dan $\sum\tau = 0$
    B. $\sum F \neq 0$ dan $\sum\tau = 0$
    C. $\sum F = 0$ dan $\sum\tau \neq 0$
    D. $\sum F \neq 0$ dan $\sum\tau \neq 0$
    E. $\sum F > 0$ dan $\sum\tau < 0$

23. Sebuah katrol memiliki jari-jari R dan momen inersia I. Katrol tersebut ditarik dengan gaya F sehingga memiliki percepatan sudut sebesar α. Agar percepatan sudut katrol menjadi 3α, besar gaya yang harus diberikan sebesar . . .
    A. 0,5 F
    B. 1,5 F
    C. 3,0 F
    D. 4,0 F
    E. 6,0 F

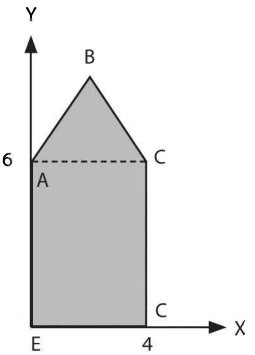
24. Perhatikan gambar berikut!



Letak titik berat bidang homogen di samping terhadap titik O adalah . . .

A. (2, 2) cm
B. (2, 3) cm
C. (2, 4) cm
D. (3, 2) cm
E. (3, 3) cm

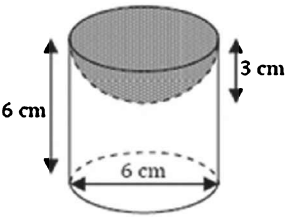
25. Benda homogen pada gambar berikut mempunyai ukuran AB = BC = $\sqrt{13}$.



Koordinat titik beratnya terhadap E adalah . . .

A. (1 ; 1,7) cm
B. (1 ; 3,6) cm
C. (2 ; 3,8) cm
D. (2 ; 6,2) cm
E. (3 ; 3,4) cm

26. Perhatikan gambar berikut!



Letak titik berat bangun yang tidak diarsir dari bangun tersebut adalah . . ..

A. $1\frac{1}{30}$

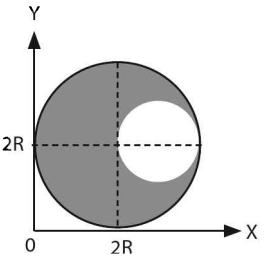
B. $1\frac{8}{41}$

C. $1\frac{15}{34}$

D. $2\frac{5}{27}$

E. $2\frac{1}{16}$

27. Sebuah bola tiga dimensi berongga berada pada koordinat Cartesian, seperti ditunjukkan gambar berikut.



Titik berat sistem terhadap titik nol adalah . . .

A. $\frac{12}{7}$R dan 2R

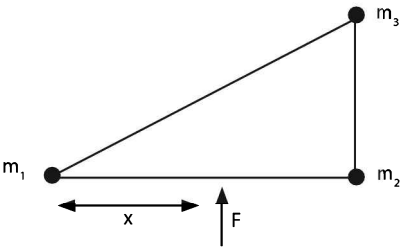
B. $\frac{13}{7}$R dan 2R

C. $\frac{7}{13}$R dan 2R

D. $\frac{1}{7}$R dan 2R

E. $\frac{8}{7}$R dan 2R

28. Perhatikan gambar berikut !



Pada gambar terlukis suatu segitiga siku-siku yang sangat ringan tetapi kuat. Di titik sudutnya ada massa m_1, m_2, dan m_3 masing-masing 100 gram, 100 gram, dan 300 gram. Jarak $m_1 - m_2$ dan $m_2 - m_3$ masing-masing 40 cm dan 30 cm. Gaya F mengenai tegak lurus pada kerangka m_1 m_2 dengan jarak x dari m_1. Gaya F sebidang

dengan bidang kerangka. Agar titik bergerak translasi murni tanpa rotasi, besar x adalah . . .

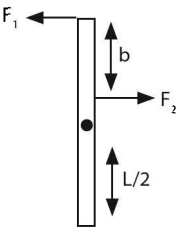
A. 20 cm
B. 30 cm
C. 32 cm
D. 38 cm
E. 40 cm

29. Silinder pejal homogen bermassa m dan berjejari R diikatkan pada dua utas tali yang tergulung, seperti ditunjukkan gambar berikut.

Besar percepatan turunnya silinder adalah . . .

A. $\frac{5}{3}g$
B. $\frac{4}{3}g$
C. $\frac{2}{3}g$
D. $\frac{1}{3}g$
E. $\frac{1}{2}g$

30. Sebuah batang homogen bermassa m, rebah di lantai mendapat gaya F_1 dan F_2 sehingga bergerak lurus dengan percepatan a. jarak antara kedua titik tangkap adalah b seperti pada gambar (posisi batang dilihat dari atas).



Panjang batang dinyatakan dalam m, F_2, a dan b adalah . . .

A. $L = \frac{F_2 b}{ma}$
B. $L = \frac{3F_2 b}{2ma}$
C. $L = \frac{2F_2 b}{3ma}$
D. $L = \frac{2F_2 b}{ma}$
E. $L = \frac{F_2 b}{2ma}$

Fisika (bahasa Yunani: fysikós, "alamiah" atau fýsis, "alam") adalah ilmu tentang alam dalam makna yang terluas.

FLUIDA

9

A. FLUIDA STATIS

a. Massa Jenis

Kerapatan atau ***massa jenis*** adalah perbandingan antara massa zat dengan volume zat tersebut.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

dengan,
ρ = massa jenis (kg/m^3)
m = massa zat (kg)
V = volume zat (m^3)

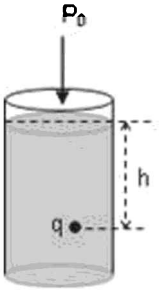
b. Tekanan Fluida

Tekanan dalam ilmu fisika adalah gaya yang bekerja tegak lurus pada suatu bidang per satuan luas bidang tersebut. Satuan dari tekanan adalah Pascal (Pa).

$$p = \frac{F}{A}$$

dengan,
p = tekanan (Pa atau N/m^2)
F = gaya (tekan) (N)
A = luas bidang (m^2)

c. Tekanan Hidrostatis



Tekanan hidrostatis adalah tekanan pada zat cair yang diam pada suatu kedalaman tertentu. Tekanan hiddrostatis disebabkan oleh gaya berat fluida yang berada di atas titik tinjau. Tekanan hidrostatis titik q adalah:

$$p_h = \rho g h$$

Tekanan total di titik q adalah:

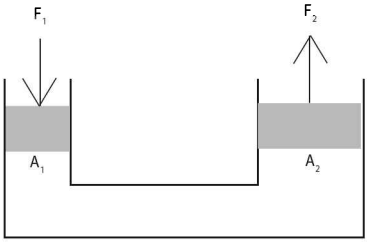
$$p = p_0 + p_h$$
$$p = p_0 + \rho g h$$

dengan,

p_h = tekanan hidrostatis (Pa atau N/m^2)
p_0 = tekanan udara/atmosfer (atm, Pa atau N/m^2)
p = tekanan total (Pa, N/m^2)
ρ = massa jenis (kg/m^2)
g = percepatan gravitasi (m/s^2)
h = kedalaman atau tinggi permukaan dari dasar wadah (m)

d. Hukum Pascal

Hukum Pascal menyatakan: "*Tekanan yang diberikan kepada zat cair di dalam ruang tertutup diteruskan sama besar ke segala arah.*"



$$p_1 = p_2 \Leftrightarrow \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \Leftrightarrow F_2 = \frac{A_2}{A_1} \times F_1 \qquad p_{keluar} = p_{masuk}$$

Jika kedua penghisap berbentuk silinder dengan diameter penghisap 1 adalah D_1 dan penghisap 2 adalah D_2, maka berlaku:

$$F_2 = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \times F_1$$

Penerapan prinsip kerja hukum Pascal dalam kehidupan sehari-hari antara lain: dongkrak hidrolik, pompa hidrolik, pengungkit mobil hidrolik, mesin press hidrolik, dan rem piringan hidrolik.

e. Hukum Archimedes

Hukum Archimedes menyatakan: "*setiap benda berada di dalam fluida baik sebagian atau seluruhnya akan mendapat gaya apung ke atas yang besarnya sama dengan berat fluida yang dipindahkan oleh benda tersebut.*"

Jika berat benda di udara W, berat benda di dalam fluida cair W', maka gaya ke atas (F_a) dirumuskan:

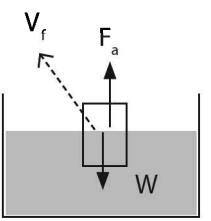
$$F_a = W - W'$$
$$F_a = m_f g$$
$$F_a = \rho_f V_f g$$

dengan,

F_a = gaya ke atas atau gaya apung (N)
m_f = massa fluida (kg)
ρ_f = massa jenis fluida (kg/m^3)
V_f = volume benda yang tercelup dalam fluida cair (m^3)
g = gravitasi (m/s^2)
$W_f = F_a = m_f g$ = berat fluida yang dipindahkan (N).

Berdasarkan keadaan benda di dalam zat cair, hukum Archimedes dapat diterapkan dalam tiga keadaan:

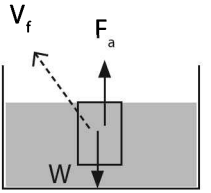
1. *Mengapung*



Pada kasus ini hanya sebagian kecil benda yang tercelup di dalam zat cair, sehingga volume zat cair yang dipindahkan sama dengan volume benda yang tercelup di dalam zat cair dan lebih kecil dari volume benda seluruhnya.

$W = F_a$
$\rho_b V_b g = \rho_f V_f g$
$\rho_b V_b = \rho_f V_f \rightarrow$ karena $V_f < V_b$, maka $\rho_b < \rho_f$.

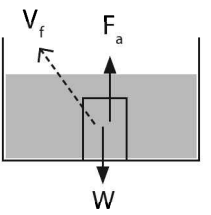
2. *Melayang*



Pada kasus ini, seluruh benda tercelup di dalam zat cair sehingga volume zat cair yang dipindahkan sama dengan volume benda seluruhnya.

$W = F_a$
$\rho_b V_b g = \rho_f V_f g$
$\rho_b V_b = \rho_f V_f \rightarrow$ karena $V_f = V_b$, maka $\rho_b = \rho_f$.

3. *Tenggelam*



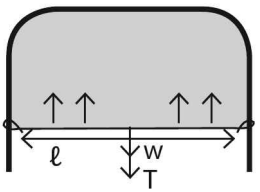
Pada kasus ini, seluruh benda tercelup di dalam zat cair sehingga volume zat cair yang dipindahkan sama dengan volume benda seluruhnya. Gaya berat benda lebih besar daripada gaya apung, sehingga berlaku:

$W > F_a$

$\rho_b V_b g > \rho_f V_f g$

$\rho_b V_b > \rho_f V_f \rightarrow$ karena $V_f = V_b$, maka $\rho_b > \rho_f$.

B. TEGANGAN PERMUKAAN ZAT CAIR



Tegangan permukaan adalah kecenderungan permukaan suatu fluida untuk meregang sehingga permukaannya seperti tertutup oleh lapisan elastis.

Jika F adalah gaya tegangan permukaan, W adalah gaya berat, dan gaya tarik ke bawah T, maka total gaya ke bawah adalah:

$$F = W + T$$

Tegangan permukaan (γ) didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya tegangan permukaan (F) dengan panjang permukaaan (d).

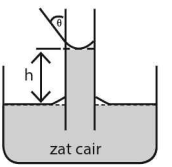
$$\gamma = \frac{F}{d} = \frac{F}{2\ell}$$

dengan,

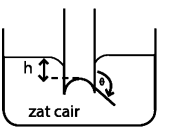
γ = tegangan permukaan (N/m)
F = gaya tegangan permukaan (N)
d = 2ℓ = panjang permukaan (m)

C. KAPILARITAS

Kapilaritas adalah peristiwa naik atau turunnya permukaan fluida di dalam pipa kapiler (pipa sempit). Gejala kapilaritas pada fluida dapat



Meniskus cekung



Meniskus cembung

dirumuskan:

Gaya ke atas = berat fluida

$$F_a = W$$

$$F \cos \theta = \rho V g$$

$$\gamma \ell \cos \theta = \rho 2\pi r^2 h g$$

$$h = \frac{2 \cdot \gamma \cos \theta}{\rho \cdot g \cdot r}$$

dengan,

h = kenaikan atau penurunan fluida (m)
γ = tegangan permukaan (N/m)
g = gravitasi (m/s^2)
r = jari-jari pipa kapiler (m)
θ = sudut kontak
ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

D. HUKUM STOKES DAN VISKOSITAS

Viskositas adalah ukuran kekentalan fluida yang menyatakan besar kecilnya gesekan di dalam fluida, dinyatakan:

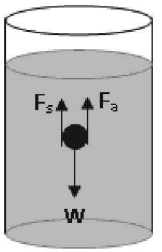
$$F = \frac{\eta \cdot A \cdot v}{L}$$

dengan,

F = gaya yang bekerja (N)
η = koefisien viskositas (kg/ms)
A = luas keping yang bersentuhan dengan fluida (m^2)
v = kelajuan (m/s)
L = jarak antara dua keping (m)

Jika suatu benda dijatuhkan bebas dalam fluida kental, kecepatannya makin membesar sampai mencapai suatu kecepatan maksimum (terbesar) yang konstan. Kecepatan tersebut dinamakan *kecepatan terminal*.

Dari gambar di samping, diperoleh:



$\Sigma F = 0$

$W - F_s - F_a = 0$

$W = F_s + F_a$, dengan $F_s = 6\,\pi\,\eta\,r\,v$ dan $F_a = \rho_f V_f g$

$\eta = \frac{2}{9}\frac{gr^2}{v}(\rho_b - \rho_f) \rightarrow$ hukum Stokes.

Untuk benda berbentuk bola, kecepatan terminal (v_T) dinyatakan:

$$v_T = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 \cdot g}{\eta}(\rho_b - \rho_f)$$

dengan,

v_T = kecepatan terminal (m/s)
r = jari-jari benda (m)
g = gravitasi (m/s^2)
η = koefisien viskositas (kg/ms)
ρ_b = massa jenis benda (kg/m^3)
ρ_f = massa jenis fluida (kg/m^3)

E. FLUIDA DINAMIS

a. Persamaan Kontinuitas

Banyaknya fluida yang mengalir melalui suatu penampang tiap satuan waktu adalah tetap, sehingga dinyatakan:

$m_1 = m_2$

$\rho_1 V_1 = \rho_2 V_2$

$\rho_1 A_1 v_1 \Delta t = \rho_2 A_2 v_2 \Delta t \rightarrow$ karena $\rho_1 = \rho_2 = \rho$

$A_1 v_1 = A_2 v_2 \rightarrow$ persamaan kontinuitas

dengan,

A_1 = luas penampang I (m^2)
v_1 = laju aliran fluida pada penampang I (m/s)
A_2 = luas penampang II (m^2)
v_2 = laju aliran fluida pada penampang II (m/s)

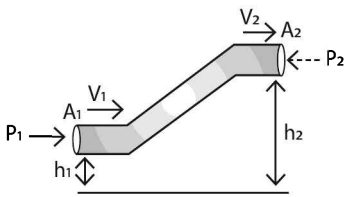
Perkalian antara luas penampang dengan laju alir menyatakan volume fluida yang mengalir per satuan waktu atau yang disebut debit dengan satuan m^3/s.

$$Q = A \cdot v$$

Q = debit aliran fluida (m^3/s)
A = luas penampang (m^2)
v = Laju aliran fluida (m/s)

h. Persamaan Bernoulli

Azas Bernoulli: "*tekanan fluida kecil di tempat yang kecepatan alirnya besar, sebaliknya tekanannya besar di tempat yang kecepatan alirnya kecil.*"

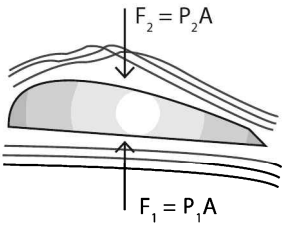


Persamaan Bernoulli merumuskan jumlah tekanan, energi kinetik, energi potensial per satuan volume yang selalu sama di setiap titik sepanjang garis arus.

$$p_1 + \tfrac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \tfrac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

dengan,
p_1 dan p_2 = tekanan di titik 1 dan 2 (N/m^2)
v_1 dan v_2 = kecepatan aliran di titik 1 dan 2 (m/s)
h_1 dan h_2 = ketinggian titik 1 dan 2 (m)
ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)
g = gaya gravitasi (m/s^2)

c. Gaya Angkat Pesawat Terhang



Pesawat terbang dapat terangkat ke udara karena perbedaan kelajuan udara di atas dan di bawah sayap pesawat, penampang sayap bagian belakang yang tajam dan sisi atas lebih melengkung dari sisi bawah. Bentuk ini membuat kelajuan udara di atas sayap lebih besar daripada di bawah sayap, sehingga tekanan udara di bawah sayap lebih besar daripada di atas sayap pesawat.

Nilai gaya angkat sayap pesawat dapat dirumuskan:

$$F_1 - F_2 = (p_1 - p_2)\, A$$

Karena $h_1 = h_2$, dari persamaan Bernoulli diperoleh rumusan:

$$F_1 - F_2 = \tfrac{1}{2}\, \rho\, (v_2^{\,2} - v_1^{\,2})\, A$$

dengan,
$F_1 - F_2$ = gaya angkat sayap pesawat (N)
ρ = massa jenis udara (kg/m^3)
v_1 = kecepatan udara di bawah sayap (m/s^2)
v_2 = kecepatan udara di atas sayap (m/s^2)
A = luas penampang sayap (m^2)

CONTOH SOAL DAN PEMBAHASAN

1. Massa bola yang memiliki massa jenis 57,4 kg/m^3 dan berdiameter 7 cm adalah . . . (π = 3,14)
   A. 0,30 kg
   B. 0,01 kg
   C. 4,00 kg
   D. 5,23 kg
   E. 6,17 kg

   Jawaban: B

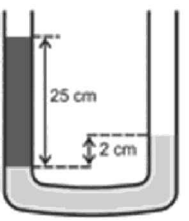
- massa jenis bola, $\rho = 57{,}4\ kg/m^3$.
- diameter bola, d = 7 cm
- volume bola tersebut adalah:

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3$$
$$= \frac{4}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3$$
$$= \frac{4}{24}\pi d^3$$
$$= \frac{1}{6}(3{,}14)(7\ cm)^3$$
$$= 179{,}5\ cm^3$$
$$= 179{,}5 \times 10^{-6}\ m^3.$$

Massa bola adalah:

$$m = \rho \cdot V$$
$$= 57{,}4\ kg/m^3 \,.\, 179{,}5 \,.\, 10^{-6}\ m^3$$
$$= 10303.3 \,.\, 10^{-6}\ kg$$
$$= 0{,}01\ kg.$$

2. Perhatikan gambar di samping!
Air raksa pada bejana berhubungan mempunyai selisih 2 cm. kaki sebelah kiri berisi zat cair yang tingginya 25 cm, massa jenis zat cair tersebut adalah . . . ($\rho_{raksa} = 13600\ kg/m^3$)



A. $800\ kg/m^3$
B. $1030\ kg/m^3$
C. $1088\ kg/m^3$
D. $1300\ kg/m^3$
E. $1360\ kg/m^3$

Jawaban: C

- selisih ketinggian air raksa, $h_1 = 2$ cm
- ketinggian zat cair, $h_2 = 25$ cm
- massa jenis air raksa, $\rho_1 = 13.600\ kg/m^3$

Massa jenis zat cair tersebut (ρ_2) dapat ditentukan dengan prinsip tekanan hidrostatis, yaitu:

$p_{h1} = p_{h2}$

$\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2$

$\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$

$$\rho_2 = \frac{h_1}{h_2} x\, p_1$$

$$= \frac{2}{25} x \left(13.600\ kg/m^3\right)$$

$$= 2\ x\ 544\ kg/m^3.$$

$$= 1.088\ kg/m^3.$$

3. Sebuah dongkrak hidrolik digunakan untuk mengangkat sebuah mobil, jika pipa kecil berdiameter 7 cm dan pipa besar berdiameter 60 cm. Gaya yang harus diberikan pada pipa kecil jika berat mobil adalah 20.500 N adalah ....

A. 279 N
B. 250 N
C. 189 N
D. 154 N
E. 99 N

Jawaban: A

- dongkrak hidrolik
- diameter pipa kecil, $D_1 = 7\ cm = 7 \times 10^{-2}\ m$
- diameter pipa besar, $D_2 = 60\ cm = 60 \times 10^{-2}\ m$
- gaya berat beban (di pipa besar), $F_2 = 20.500\ N$

Gaya yang harus diberikan pada pipa kecil adalah:

$$F_1 = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \times F_2$$

$$= \left(\frac{7 \times 10^{-2} m}{60 \times 10^{-2} m}\right)^2 \times 20.500 N$$

$$= \frac{49}{3.600} \times 20.500\ N$$

$$= 279{,}027\ N$$

$$\approx 279\ N.$$

4. Sebuah tabung yang tingginya 1 meter diisi penuh air dan minyak tanah. Perbandingan tinggi air dan minyak tanah dalam tabung tersebut jika tekanan hidrostatik di dasar tabung sebesar $9{,}6 \times 10^3$ adalah? ($\rho_{air} = 1000\ kg/m^3$, $\rho_{minyak} = 900\ kg/m^3$, $g = 10\ m/s^2$)

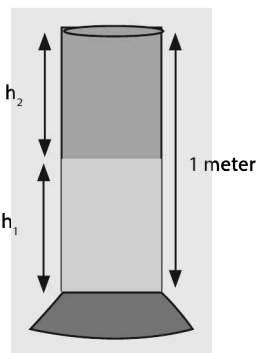
A. 1 : 2
B. 2 : 1
C. 2 : 3
D. 3 : 2
E. 3 : 4

Jawaban: D

- kedalaman tabung, $h = 1$ m
- tekanan hidrostatik dasar tabung, $P_h = 9{,}6 \times 10^3$ Pa
- $\rho_1 = \rho_{air} = 1000\ kg/m^3$, $\rho_2 = \rho_{minyak} = 900\ kg/m^3$ dan $g = 10\ m/s^2$.

Karena $\rho_{minyak} < \rho_{air}$, maka minyak menempati lapisan bagian atas tabung tersebut. Ketinggian/kedalaman lapisan minyak adalah:
$h_2 = h - h_1$

Tekanan hidrostatis pada dasar tabung adalah:



$p_h = P_{h1} + P_{h2}$
$p_h = \rho_1\ g\ h_1 + \rho_2\ g\ h_2$
$p_h = \rho_1\ g\ h_1 + \rho_2\ g\ (h - h_1)$
$p_h = \rho_1\ g\ h_1 + \rho_2\ g\ h - \rho_2\ g\ h_1$
$p_h = (\rho_1 - \rho_2)\ g\ h_1 + \rho_2\ g\ h$
$9{,}6 \times 10^3\ Pa = (1000\ kg/m^3 - 900\ kg/m^3) \times (10\ m/s^2)\ h_1 + (900\ kg/m^3) \times (10\ m/s^2)\ (1\ m)$
$9.600\ N/m^2 = (1000\ kg/m^2s^2) \times h_1 + 9000\ N/m^2$
$(1000\ kg/m^2s^2) \times h_1 = 600\ N/m$
$h_1 = (600 : 1.000)\ m$
$h_1 = 0{,}6\ m$

Maka tinggi lapisan minyak adalah:
$h_2 = 1\ m - 0{,}6\ m$
$h_2 = 0{,}4\ m$

Perbandingan tinggi air dan minyak adalah:
= 0,6 : 0,4
= 6 : 4
= 3 : 2.

5. Sebuah pompa hidrolik digunakan untuk mengangkat mobil yang beratnya 12000 N. Gaya diameter pengisap kecil 6 cm, dan gaya yang diperlukan untuk menekan pengisap kecil 13 N, berapakah diameter pengisap besar pada pompa hidrolik . . .

A. 0,9 m
B. 1,8 m
C. 2,4 m
D. 2,7 m
E. 3,6 m

Jawaban: B

- gaya yang bekerja pada pada pengisap kecil, F_1 = 13 N
- gaya yang bekerja pada penghisap besar (berat mobil), F_2 = 12.000 N
- diameter pengisap kecil, d_1 = 6 cm

Diameter pengisap besar pada pompa hidrolik tersebut adalah:

$$F_2 = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 \times F_1$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{F_2}{F_1}}\ x\ d_1 = \sqrt{\frac{12.000}{13}}\ x\ (6\ cm) = 182{,}292\ cm \approx 1.8\ m.$$

6. Sebuah benda terapung di atas permukaan air yang dilapisi minyak. Sebanyak 45% volumee benda berada di air, 20% di dalam minyak dan sisanya di permukaan. Massa jenis benda tersebut adalah . . . (ρ_{air} = 1000 kg/m^3, ρ_{minyak} = 800 kg/m^3, g = 10 m/s^2)

A. 610 kg/m^3
B. 550 kg/m^3
C. 370 kg/m^3
D. 120 kg/m^3
E. 92 kg/m^3

Jawaban: A

Benda mengapung, maka berlaku $W = F_a$.

- volumee benda di dalam air 45% dari volume total benda, $V_{f1} = 0{,}45\ V_b$.
- volumee benda di dalam minyak 20% dari volume total benda, $V_{f2} = 0{,}20\ V_b$.
- massa jenis air, $\rho_{f1} = \rho_{air} = 1000\ kg/m^3$
- massa jenis minyak, $\rho_{f2} = \rho_{minyak} = 800\ kg/m^3$

Karena benda mengapung, maka berlaku:

$W = F_a$

$\rho_b V_b g = F_{a1} + F_{a2}$

$\rho_b V_b g = \rho_{f1} V_{f1} g + \rho_{f2} V_{f2} g$

$\rho_b V_b = \rho_{f1} V_{f1} + \rho_{f2} V_{f2}$

$\rho_b V_b = \rho_{f1} (0{,}45\ V_b) + \rho_{f2} (0{,}2 V_b)$

$\rho_b = 0{,}45\ \rho_{f1} + 0{,}2\ \rho_{f2}$

$= 0{,}45 \times (1.000\ kg/m^3) + 0{,}20 \times (800\ kg/m^3)$

$= 450\ kg/m^3 + 160\ kg/m^3$

$= 610\ kg/m^3$.

Jadi, massa jenis benda tersebut sebesar $610\ kg/m^3$ (perhatikan $\rho_b < \rho_f$, sehingga benda terapung).

7. Sebuah kawat yang panjangnya 24 cm berada di permukaan air dengan panjangnya sejajar dengan permukaan. Kosfisien tegangan permukaan air adalah 0,073 N/m. Gaya tambahan di luar berat kawat yang diperlukan untuk menarik kawat adalah . . .

A. $5{,}2 \times 10^{-2}$ N
B. $4{,}7 \times 10^{-2}$ N
C. $3{,}9 \times 10^{-2}$ N
D. $3{,}5 \times 10^{-2}$ N
E. $3{,}0 \times 10^{-2}$ N

Jawaban: D

- panjang kawat, $\ell = 24\ cm = 24 \times 10^{-2}\ m$.
- koefisien tegangan permukaan air, $\gamma = 0{,}073\ N/m$

Gaya tambahan untuk menarik kawat adalah:

$F = \gamma \cdot d$

$= \gamma \cdot 2\ \ell$

$= (0{,}073\ \text{N/m}) \times 2 \times (24 \times 10^{-2}\ \text{m})$
$= (0{,}073\ \text{N/m}) \times (48 \times 10^{-2}\ \text{m})$
$= 3{,}5 \times 10^{-2}\ \text{N}.$

8. Sebuah pipa kapiler berdiameter 0,6 mm dicelupkan ke dalam methanol, maka methanol naik 18 mm. Jika sudut kontak 0°, tegangan permukaan methanol adalah . . . ($\rho_{methanol} = 790\ \text{kg/m}^3$, $g = 9{,}8\ \text{m/s}^2$).

A. 0,5 N/m
B. 0,4 N/m
C. 0,2 N/m
D. $20{,}9 \times 10^{-6}$ N/m
E. 1 N/m

Jawaban: D

- diameter pipa kapiler, $d = 0{,}6\ \text{mm} \rightarrow r = 0{,}3\ \text{mm} = 0{,}3 \times 10^{-3}\ \text{m}$.
- kenaikan methanol, $h = 18\ \text{mm} = 18 \times 10^{-3}\ \text{m}$.
- sudut kontak, $\theta = 0°$
- massa jenis methanol, $\rho = 790\ \text{kg/m}^3$.
- percepatan gravitasi, $g = 9{,}8\ \text{m/s}^2$.

Tegangan permukaan methanol adalah:

$$\gamma = \frac{h \cdot \rho \cdot g \cdot r}{2 \cdot \cos\theta}$$
$$= \frac{(18 \times 10^{-3}\text{m}) \times (790\ \text{kg/m}^3) \times (9{,}8\ \text{m/s}^2) \times (0{,}3 \times 10^{-3}\text{m})}{2 \times (\cos 0°)}$$
$$= 20{,}9 \times 10^{-6}\ \text{N/m}$$

9. Sebatang kawat dibengkokkan seperti huruf U. Kemudian kawat kecil AB bermassa 0,2 gram dipasang dalam kawat tersebut. Kemudian kawat ini dicelupkan dalam lapisan sabun dan diangkat vertikal sehingga terbentang satu lapisan sabun. Kawat AB mengalami gaya tarik ke atas. Agar terjadi kesimbangan, maka kawat kecil AB digantungkan beban bermassa 0,1 gram. Jika panjang kawat AB = 20 cm dan $g = 9{,}8\ \text{m/s}^2$, maka besar tegangan permukaan lapisan sabun adalah …

A. $2{,}94 \times 10^{-3}$ N/m
B. $1{,}47 \times 10^{-3}$ N/m
C. $2{,}94 \times 10^{-2}$ N/m
D. $1{,}47 \times 10^{-2}$ N/m
E. $0{,}735 \times 10^{-2}$ N/m

Jawaban: E

- massa kawat, $m_k = 0{,}2$ gram $= 0{,}2 \times 10^{-3}$ kg
- massa beban, $m_b = 0{,}1$ gram $= 0{,}1 \times 10^{-3}$ kg
- percepatan gravitasi, $g = 9{,}8$ m/s^2
- panjang kawat, $\ell = 20$ cm $= 0{,}2$ m

Tegangan permukaan lapisan sabun tersebut adalah:

$$\gamma = \frac{F}{2\ell}$$
$$= \frac{W + T}{2\ell}$$
$$= \frac{m_k g + m_b g}{2\ell}$$
$$= \frac{(0{,}2 \times 10^{-3}\,\text{kg})(9{,}8\,\text{m/s}^2) + (0{,}1 \times 10^{-3}\,\text{kg})(9{,}8\,\text{m/s}^2)}{2 \times (0{,}2\,\text{m})}$$
$$= \frac{2{,}94 \times 10^{-3}\,\text{N}}{0{,}4\,\text{m}}$$
$$= 0{,}735 \times 10^{-2}\ \text{N/m}$$

10. Sebuah benda berbentuk bulat jatuh ke kolam dan tenggelam ke dasar kolam. Benda tersebut mengalami hambatan $4{,}7 \times 10^{-5}$ N. Jika jari-jari benda 4 cm, maka kelajuan benda saat tenggelam adalah ... ($\eta = 1{,}8 \times 10^{-5}$ kg/ms, dan $\pi = 3{,}14$)
A. 3,47 m/s
B. 3,21 m/s
C. 2,9 m/s
D. 2,34 m/s
E. 1,78 m/s

Jawaban: A

- gaya hambatan, $F_s = 4{,}7 \times 10^{-5}$ N
- jari-jari benda, $r = 4$ cm $= 4 \times 10^{-2}$ m
- koefisien viskositas, $\eta = 1{,}8 \times 10^{-5}$ kg/ms

Kelajuan benda saat tenggelam adalah:

$$v = \frac{F_s}{6\pi\eta r}$$

$$= \frac{(4{,}7\times10^{-5}\,\text{N})}{6\times(3{,}14)\times(1{,}8\times10^{-5}\,\text{kg/ms})\times(4\times10^{-2}\,\text{m})}$$

$$= \frac{4{,}7\times10^{-5}\,\text{N}}{135{,}7\times10^{-7}\,\text{kg/s}}$$

$$= 3{,}47\ \text{m/s}.$$

11. Udara mengalir melalui sayap pesawat dengan kecepatan di bagian bawah sayap 60 m/s dan di bagian atas sayap 55 m/s. Jika massa pesawat 500 kg dan luas penampang sayap 7 m^2, gaya resultan yang bekerja pada pesawat adalah . . . (ρ_{udara} = 1,29 kg/m^3, g = 9,8 m/s^2)

A. 3.120,87 N
B. 2.308,4 N
C. – 2.303,87 N
D. – 38.303,17 N
E. – 4.063,4 N

Jawaban: C

- kecepatan udara di bagian bawah sayap, v_2 = 60 m/s
- kecepatan udara di bagian atas sayap, v_1 = 55 m/s
- massa pesawat, m = 500 kg
- luas penampang sayap, A = 7 m^2

Gaya angkat pesawat adalah:

$$F_1 - F_2 = \tfrac{1}{2}\rho\,(v_2^2 - v_1^2)\,A$$

$$= \tfrac{1}{2}\times(1{,}29\ \text{kg/m}^3)\times((60\ \text{m/s})^2 - (55\ \text{m/s})^2)\times(7\ \text{m}^2)$$

$$= (0{,}645\ \text{kg/m}^3)\times(3600\ \text{m}^2/\text{s}^2 - 3025\ \text{m}^2/\text{s}^2)\times(7\ \text{m}^2)$$

$$= (0{,}645\ \text{kg/m}^3)\times(575\ \text{m}^2/\text{s}^2)\times(7\ \text{m}^2)$$

$$= 2.596{,}13\ \text{N}$$

Berat pesawat adalah:

$$W = m\cdot g$$

$$= (500\ \text{kg})\times(9{,}8\ \text{m/s}^2)$$

$$= 4.900\ \text{N}.$$

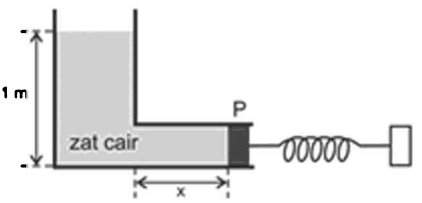
Resultan gaya yang bekerja pada pesawat adalah:

$\Sigma F = (F_1 - F_2) - W$

$= 2596{,}13\ N - 4900\ N$

$= -2.303{,}87\ N \rightarrow$ (tanda negatif, menunjukkan pesawat menuju ke bawah).

12. Penghisap P mempunyai luas penampang 0,75 cm^2 yang bergerak bebas tanpa gesekan sehingga dapat menekan pegas sejauh x. Nilai x adalah . . . ($k = 75\ N/m$, $\rho = 500\ kg/m^3$, $g = 9{,}8\ m/s^2$)



A. 49×10^{-4} m
B. 35×10^{-4} m
C. 30×10^{-4} m
D. 28×10^{-4} m
E. 27×10^{-4} m

Jawaban: A

- luas penampang penghisap, $A = 0{,}75\ cm^2 = 0{,}75 \times 10^{-4}\ m^2$.
- konstanta pegas, $k = 75\ N/m$
- massa jenis fluida, $\rho = 500\ kg/m^3$.
- percepatan gravitasi, $g = 9{,}8\ m/s^2$.

pegas (x) disebabkan tekanan hidrostatis sehingga memberikan gaya tekan pada pegas, maka berlaku:

$F_{pegas} = P_h A$

$k x = \rho g h A$

$(75\ N/m)\ x = (500\ kg/m^3) \times (9{,}8\ m/s^2) \times (1\ m) \times (0{,}75 \times 10^{-4}\ m^2)$

$(75\ N/m)\ x = 3.675 \times 10^{-4}\ N$

$x = 49 \times 10^{-4}\ m.$

13. Sebuah pipa datar memiliki luas penampang berbeda antara ujung satu dengan ujung yang lain. Jika ujung pertama pipa dialiri air bertekanan 67×10^4 Pa dan kecepatan alirannya 3 m/s, sedangkan kecepatan aliran pada pipa kedua 15 m/s, maka tekanan pada ujung

kedua pipa tersebut adalah . . . (ρ_{air} = 1000 kg/m^3, g = 9,8 m/s^2)

A. 63,35 × 10^4 Pa
B. 59,25 × 10^4 Pa
C. 56,20 × 10^4 Pa
D. 47,18 × 10^4 Pa
E. 44,12 × 10^4 Pa

Jawaban: C

- tekanan pada ujung pipa pertama, $P_1 = 67 \times 10^4$ Pa
- laju aliran fluida pada pipa pertama, $v_1 = 3$ m/s
- laju aliran fluida pada pipa kedua, $v_2 = 15$ m/s
- percepatan gravitasi, g = 9,8 m/s^2.
- massa jenis air, ρ_{air} = 1000 kg/m^3.

Tekanan pada ujung pipa kedua diperoleh berikut.

$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 \rightarrow$ (karena pipa datar, maka $h_1 = h_2 = h$)

$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h$

$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$

$P_2 = P_1 + \frac{1}{2} \rho (v_1^2 - v_2^2)$

$= (67 \times 10^4 \text{ Pa}) + \frac{1}{2} \times (1000 \text{ kg/m}^3) \times (9 \text{ m}^2/\text{s}^2 - 225 \text{ m}^2/\text{s}^2)$

$= 67 \times 10^4 \text{ Pa} - 108.000 \text{ Pa}$

$= 67 \times 10^4 \text{ Pa} - 10,8 \times 10^4 \text{ Pa}$

$= 56,2 \times 10^4$ Pa.

14. Sebuah pipa besar luas penampangnya 5 cm^2 dan ujungnya mempunyai kran yang luasnya 0,5 cm^2. Kecepatan zat cair yang mengalir pada pipa yang besar 4 m/s. Dalam waktu 10 menit zat cair yang keluar dari kran adalah . . . (UN 2011)

A. 1 m^3
B. 1,5 m^3
C. 2 m^3
D. 2,25 m^3
E. 2,5 m^3

Jawaban: B

- luas penampang pipa besar, $A_1 = 5$ cm^2
- luas penampang pipa kecil, $A_2 = 0,5$ cm^2

- laju aliran air di penampang besar, $v_1 = 5$ m/s
- selang waktu alir, $\Delta t = 10$ menit $= 600$ detik

Laju aliran air pada kran adalah:

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} \times v_1 = \frac{5}{0{,}5} \times (5\ \text{m/s}) = 10 \times (5\ \text{m/s}) = 50\ \text{m/s}.$$

Volume air yang keluar dari kran dalam waktu 10 menit (600 s) adalah:

$$\begin{aligned} V &= Q \times \Delta t \\ &= A_2 \times v_2 \times \Delta t \\ &= (0{,}5 \times 10^{-4}\ \text{m}^2) \times (50\ \text{m/s}) \times (600\ \text{s}) \\ &= 15.000 \times 10^{-4}\ \text{m}^3 \\ &= 1{,}5\ \text{m}^3. \end{aligned}$$

15. Sebuah pipa berdiameter 8 cm dan ujungnya menyempit berdiameter 6 cm. Jika kecepatan aliran pipa kecil 0,13 m/s, kecepatan aliran di pipa besar adalah . . .

A. 0,24 m/s
B. 0,13 m/s
C. 0,1 m/s
D. 0,07 m/s
E. 0,04 m/s

Jawaban: D

- diameter pipa penampang besar, $d_1 = 8$ cm
- diameter pipa penampang kecil, $d_2 = 6$ cm
- laju aliran fluida pada pipa penampang kecil, $v_2 = 0{,}13$ m/s

Kecepatan aliran fluida di pipa penampang besar adalah:

$$v_1 = \frac{A_2}{A_1} \times v_2 = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 \times v_2 = \left(\frac{6}{8}\right)^2 \times (0{,}13\ \text{m/s}) = 0{,}07\ \text{m/s}.$$

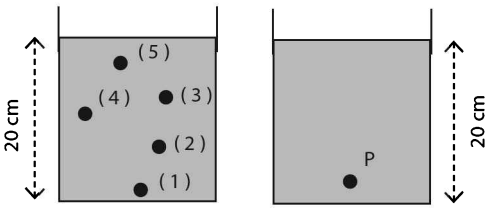
LATIHAN SOAL 9

1. Dasar suatu wadah yang berisi gliserin menerima tekanan hidrostatis sebesar 8370 Pa. Jika ρ gliserin = 1260 kg/m^3 dan g = 9,8 m/s^2, maka ketinggaan permukaan gliserin dari dasar wadah adalah . . ..
   A. 0,5 m
   B. 0,57 m
   C. 0,68 m
   D. 1,04 m
   E. 1,14 m

2. Sebuah bejana yang tingginya 30 cm diisi dengan air sampai penuh. Jika diketahui tekanan udara $P_u = 10^5$ Pa, ρ air = 1000 kg/m^3 dan g = 9,8 m/s^2, maka tekanan total yang diterima dasar wadah adalah . . ..
   A. 0,4 x 10^5 Pa
   B. 1,134 x 10^5 Pa
   C. 1,04 x 10^5 Pa
   D. 1,0294 x 10^5 Pa
   E. 1,75 x 10^4 Pa

3. Di dalam tabung gelas terdapat minyak setinggi 20 cm. Dengan mengabaikan tekanan udara luar, tekanan yang terjadi pada dasar tabung 1.600 N/m^2. Jika g = 10 m/s^2, maka massa jenis minyak adalah . . ..
   A. 8×10^1 kg/m^3
   B. 8×10^2 kg/m^3
   C. 8×10^3 kg/m^3
   D. 8×10^4 kg/m^3
   E. 8×10^5 kg/m^3

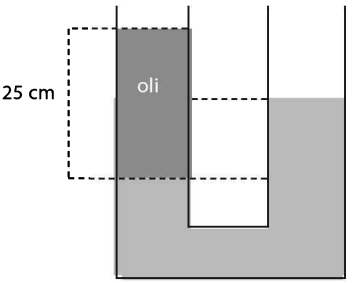
4. Perhatikan diagram berikut ini!



Di dalam 2 bejana di atas masing-masing berisi zat cair yang perbandingan massa jenisnya $\rho_A : \rho_B = 5 : 4$. Titik pada bejana A yang mempunyai tekanan sama dengan titik P pada bejana B adalah titik . . .

A. (5), $h_5 = 8$ cm
B. (4), $h_4 = 10$ cm
C. (3), $h_3 = 12$ cm
D. (2), $h_2 = 16$ cm
E. (1), $h_1 = 20$ cm

5. Perhatikan gambar berikut!



Pada gambar di atas, pipa berbentuk U diisi air dan oli ($\rho_{air} = 1$ g/cm^3, $\rho_{oli} = 0{,}8$ g/cm^3) Selisih tinggi permukaan air dan oli adalah . . ..

A. 1,6 cm
B. 3,2 cm
C. 4,0 cm
D. 5,0 cm
E. 16 cm

6. Seorang penyelam memeriksa kerangka kapal laut pada kedalaman 15 m di bawah permukaan air. Jika $g = 9{,}8$ m/s^2 dan massa jenis air laut 1.100 kg/m^3, maka tekanan hidrostatis yang dialami penyelam adalah . . ..

A. 161.700 N/m^2
B. 16.500 N/m^2
C. 10.780 N/m^2
D. 719 N/m^2
E. 147 N/m^2

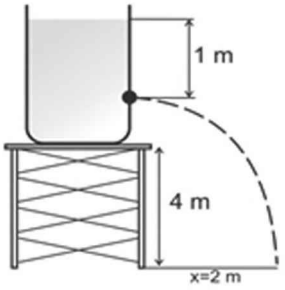
7. Dengan menganggap massa jenis darah 1,0 × 10^3 kg/m^3 dan g = 10 m/s^2, maka selisih tekanan hidrostatik darah di antara otak dan telapak kaki seseorang yang tinggi badannya 165 cm adalah . . ..
A. 1,65 × 10^2 N/m^2
B. 1,65 × 10^3 N/m^2
C. 1,65 × 10^4 N/m^2
D. 0,84 × 10^4 N/m^2
E. 0,83 × 10^3 N/m^2

8. Sebuah benda ditimbang di udara beratnya 35 N. Ketika benda tersebut ditimbang di dalam air berat benda menjadi 28 N. Jika ρ air = 10^3 kg/m^3, maka gaya ke atas yang dialami benda tersebut adalah . .
A. 3 N
b. 4 N
c. 7 N
d. 9 N
e. 10 N

9. Diketahui ρ air = 10^3 kg/m^3 ; g = 9,8 m/s^2 ; η_{udara} = 1,8×10^{-5} kg/ms, dan ρ_{udara} = 1,29 kg/m^3. Kecepatan maksimum dari air hujan yang berdiameter 0,4 mm adalah . . ..
A. 4,87 m/s
B. 4,66 m/s
C. 3,87 m/s
D. 3,5 m/s
E. 3,0 m/s

10. Sebuah pipa berdiameter 8 cm dan ujungnya menyempit berdiameter 6 cm. Jika kecepatan aliran pipa kecil 0,13 m/s dan π = 3,14, maka kecepatan aliran di pipa besar adalah . . ..
A. 0,24 m/s
B. 0,13 m/s
C. 0,10 m/s
D. 0,06 m/s
E. 0,04 m/s

11. Perhatikan kebocoran tangki air pada lubang P pada gambar berikut.



Air yang keluar dari lubang *P* akan jatuh ke tanah memerlukan waktu sebesar . . ..

A. $\frac{1}{5}\sqrt{5}$ s
B. $\frac{2}{5}\sqrt{5}$ s
C. $\frac{3}{5}\sqrt{5}$ s
D. $\frac{4}{5}\sqrt{5}$ s
E. $\sqrt{5}$ s

12. Sebuah pipa memiliki luas penampang berbeda antara ujung satu dengan ujung yang lain. Ujung pertama pipa dialiri air bertekanan 67×10^4 Pa dan kecepatan alirannya 3 m/s. Jika kecepatan aliran pada pipa kedua 15 m/s (ρ air = 1000 kg/m^3), maka tekanan pada ujung kedua pipa tersebut adalah . . .
A. $63{,}35 \times 10^4$ Pa
B. $59{,}25 \times 10^4$ Pa
C. $56{,}20 \times 10^4$ Pa
D. $47{,}18 \times 10^4$ Pa
E. $44{,}12 \times 10^4$ Pa

13. Sebuah tendon air memiliki dua buah lubang *A* dan *B*. Lubang *A* terletak 40 cm dari permukaan dan lubang *B* terletak 20 cm dari dasar. Tentukan perbandingan x_A dan x_B jika ketinggian tendon tersebut adalah 2 m?
A. 5 : 4
B. 5 : 3
C. 3 : 4
D. 16 : 25
E. 4 : 3

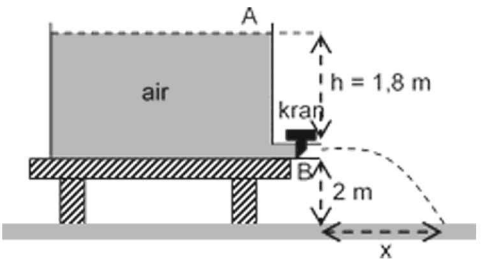
14. Air terjun setinggi 20 m dengan debit 50 m^3/s dimanfaatkan untuk memutar turbin yang menggerakkan generator listrik. Jika 25% energi air dapat berubah menjadi energi listrik, maka daya keluaran generator adalah . . . ($g = 10\ m/s^2$)

A. 0,90 MW
B. 1,10 MW
C. 1,25 MW
D. 1,30 MW
E. 2,50 MW

15. Udara mengalir melalui sayap pesawat dengan kecepatan di bagian bawah sayap 55 m/s dan di bagian atas sayap 60 m/s. Jika ρ udara = 1,29 kg/m^3 ; g = 9,8 m/s^2; massa pesawat 500 kg dan luas penampang sayap 7 m^2, maka gaya resultan yang bekerja pada pesawat adalah. . ..

A. 3120,87 N
B. 2308,4 N
C. –2303 N
D. –38303,17 N
E. –4063,4 N

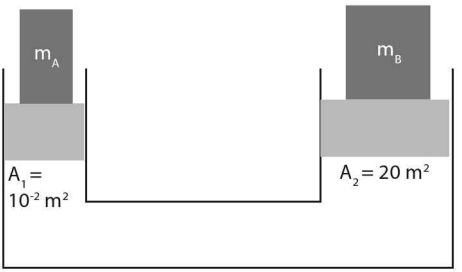
16. Sebuah tangki air dilengkapi kran dan data fisis seperti pada gambar :



Jika kran dibuka, air akan menyembur melalui B dengan kecepatan . . .. ($g = 10\ m/s^2$).

A. 0,6 m/s
B. 1,2 m/s
C. 6,0 m/s
D. 12,0 m/s
E. 60,0 m/s

17. Perhatikan gambar berikut ini !



Jika diketahui m_B = 6 ton dan g = 10 m/s². Maka massa beban *A* adalah . . ..

A. 2 kg
B. 3 kg
C. 4 kg
D. 5 kg
E. 6 kg

18. Sebuah pipa mempunyai diameter penampang berbeda-beda yaitu 6 cm dan 3 cm. Kecepatan air dalam pipa berdiameter 6 cm adalah 1,5 m/s. Kecepatan air pada pipa berdiameter 3 cm adalah . . ..

A. 3 m/s
B. 6 m/s
C. 8 m/s
D. 9 m/s
E. 11,5 m/s

19. Pipa yang mempunyai dua penampang A_1 dan A_2 digunakan untuk mengalirkan air. Luas penampang A_1 = 20 cm², dan luas penampang A_2 = 10 cm². Perbandingan kecepatan aliran pada penampang A_1 dan penampang A_2 adalah . . .

A. 2 : 1
B. 1 : 4
C. 1 : 3
D. 1 : 2
E. 1 : 1

20. Pipa air berdiameter 5 inchi disambung dengan pipa air berdiameter 3 inchi. Jika kecepatan air dalam pipa 3 inchi adalah 7,5 m/s, maka kecepatan aliran air dalam pipa 5 inchi adalah . . ..

A. 2,7 m/s
B. 4,5 m/s
C. 12,5 m/s
D. 20,8 m/s
E. 25,0 m/s

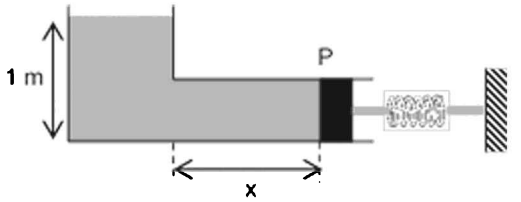
21. Pompa hidrolik mempunyai penampang A_1 = 10 cm^2 dan A_2 = 30 cm^2. Jika beban pada penampang A_1 seberat 50 N, maka beban yang terangkat pada penampang A_2 adalah . . ..
    A. 50 N
    B. 150 N
    C. 300 N
    D. 500 N
    E. 1.500 N

22. Pada pesawat penekan hidrolik, luas penampang bejana kecil 25 cm^2 sedangkan luas penampang bejana besar 0,5 m^2. Jika gaya penekan yang diberikan pada bejana kecil 100 N, berat beban yang dapat diangkat pada bejana besar sebesar . . ..
    A. 40.000 N
    B. 30.000 N
    C. 25.000 N
    D. 20.000 N
    E. 18.000 N

23. Suatu fluida mengalir pada tabung yang luas penampangnya berbeda. Luas tabung kecil 4 cm^2 dan luas tabung besar 10 cm^2. Jika kecepatan aliran pada tabung besar 8 m/s, maka kecepatan aliran pada tabung kecil adalah . . ..
    A. 2 m/s
    B. 2,5 m/s
    C. 4 m/s
    D. 8 m/s
    E. 20 m/s

24. Air mengalir pada suatu pipa yang diameternya berbeda dengan perbandingan 1 : 2. Jika kecepatan air yang mengalir pada bagian pipa yang besar sebesar 40 m/s, maka besarnya kecepatan air pada bagian pipa yang kecil sebesar . . ..
    A. 20 m/s
    B. 40 m/s
    C. 80 m/s
    D. 120 m/s
    E. 160 m/s

25. Pengisap P mempunyai luas penampang 0,75 cm^2 yang bergerak bebas tanpa gesekan sehingga dapat menekan pegas sejauh x.



Jika konstanta pegas 75 N/m dan massa jenis zat cair 500 kg/m^3, maka perpindahan *x* sebesar …

A. 0,4 cm
B. 0,5 cm
C. 0,6 cm
D. 0,7 cm
E. 1,0 cm

26. Pipa berjari-jari 15 cm disambung dengan pipa lain berjari-jari 5 cm, keduanya dalam posisi horizontal. Jika kecepatan aliran air pada pipa besar adalah 1 m/s pada tekanan 15 N/m^2 serta massa jenis air, ρ_{air} = 1 g/cm^3, maka tekanan pada pipa yang kecil adalah . . ..

A. 1.000 N/m^2
B. 1.500 N/m^2
C. 3.000 N/m^2
D. 6.000 N/m^2
E. 9.000 N/m^2

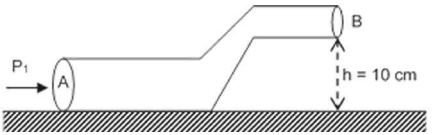
27. Sebuah pipa silindris yang lurus mempunyai dua macam penampang, masing-masing dengan luas 200 m^2 dan 100 m^2. Pipa tersebut diletakkan secara horizontal, sedangkan air di dalamnya mengalir dari arah penampang besar ke penampang kecil. Apajika kecepatan arus di penampang besar 2 m/s, maka kecepatan arus di penampang kecil adalah . . ..

A. ¼ m/s
B. ½ m/s
C. 1 m/s
D. 2 m/s
E. 4 m/s

28. Air mengalir dengan kecepatan 4 m/s dalam pipa berdiameter 14 mm. Debit aliran air tersebut adalah . . ..

A. 6.160 cm^3/s
B. 616 cm^3/s
C. 61,6 cm^3/s
D. 6,16 cm^3/s
E. 0,616 cm^3/s

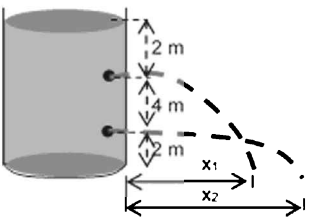
29. Sebuah pipa silindris diletakkan mendatar (lihat gambat) dan dialiri air dengan kecepatan aliran di A = 3 m/s dan di B = 5 m/s.



Jika tekanan di penampang A = 10^5 N/m^2, maka tekanan di penampang B adalah . . ..

A. $9{,}1 \times 10^4$ N/m^2
B. $10{,}45 \times 10^4$ N/m^2
C. $11{,}8 \times 10^4$ N/m^2
D. $13{,}5 \times 10^4$ N/m^2
E. $19{,}0 \times 10^4$ N/m^2

30. Perhatikan gambar berikut.



Fluida mengalir melalui lubang kecil pada dinding bak.Perbandingan $x_1 : x_2$ adalah . . .

A. 3 : 2
B. 2 : 3
C. 1 : 3
D. 1 : 2
E. 1 : 1

Fisika (bahasa Yunani: fysikós, "alamiah" atau fýsis, "alam") adalah ilmu tentang alam dalam makna yang terluas.

SUHU DAN KALOR

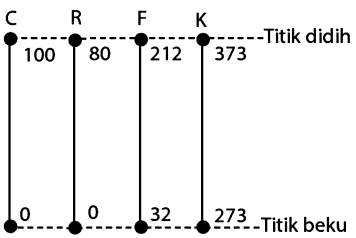
10

A. SUHU DAN PENGUKURANNYA

Sebuah ketel yang berisi air dingin dan diletakkan di atas kompor, maka suhu air tersebut naik. ***Suhu*** adalah besaran yang menunjukkan ukuran derajat panas atau dinginnya suatu benda. Satuan suhu dalam SI adalah kelvin (K). Alat yang digunakan untuk mengukur suhu adalah termometer. Prinsip kerja dari termometer adalah dengan memanfaatkan perubahan fisik pada benda akibat terjadinya perubahan suhu.

a. Termometer

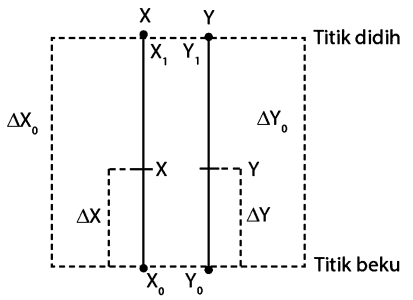
Skala yang digunakan dalam pengkuran suhu, antara lain Celsius (°C), Reamur (°R), Fahrenheit (°F), dan Kelvin (K).
Dari gambar di samping, diperoleh hubungan antarsatuan termometer, yaitu:



$$^{0}C = \frac{5}{4}{}^{0}R = \frac{5}{9}\left({}^{0}F - 32\right) = K - 273$$

dengan,
C = Celsius
R = Reamur
F = Fahrenheit
K = Kelvin

b. Hubungan Skala Subu antara Dua Duab Termometer



Perhatikan gambar di samping!

Pada termometer X dan Y berlaku perbandingan sebagai berikut.

$$\frac{\Delta X}{\Delta X_0} = \frac{\Delta Y}{\Delta Y_0}$$

X_i = titik didih
X_0 = titik beku

B. KALOR PENGUBAH SUATU ZAT

Kalor (Q) adalah energi panas yang merambat dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah. Satuan kalor dalam SI adalah joule (J).

Besarnya kalor yang diserap/dilepaskan oleh suatu benda bergantung pada massa, kalor jenis, dan perubahan suhu benda tersebut.

$$Q = m\,c\,\Delta T = m\,c\,(T - T_0) = C\,\Delta T$$

dengan,
Q = kalor (J atau kalori)
m = massa benda (kg)

c = kalor jenis benda (J/kg K atau kal/g °C)
$\Delta T = T - T_0$ = perubahan suhu benda (°C atau K)
T = suhu akhir sistem
T_0 = suhu awal sistem
C = kapasitas kalor benda (J/K atau kal/°C)

a. Kalor Laten

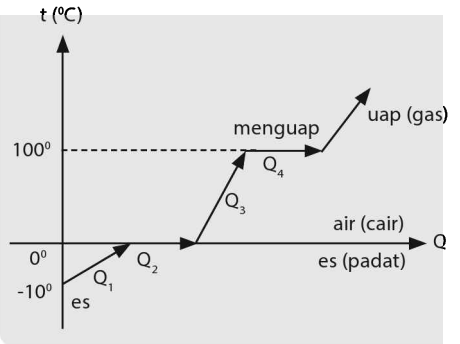
Banyaknya kalor yang diperlukan untuk mengubah wujud 1 gram zat disebut kalor laten (L).

$$Q = m L$$

dengan,
Q = kalor (J atau kal)
m = massa benda (kg atau g)
L = kalor laten (J/kg atau kal/g)
Kalor laten ada dua macam, yaitu:
- kalor lebur : untuk mengubah dari padat ke cair, dan
- kalor uap : untuk mengubah dari cair ke uap.

b. Perubahan Subu dan Wujud Benda

Berikut adalah grafik perubahan wujud zat akibat perubahan suhu.
Keterangan gambar:
Q_1 = kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu es dari –10°C menjadi 0°C
Q_2 = kalor yang diperlukan untuk merubah wujud dari padat menjadi cair
Q_3 = kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu air dari 0°C menjadi 100°C



Q_4 = kalor yang diperlukan untuk merubah wujud dari cair menjadi uap.

Banyaknya kalor total yang diperlukan selama proses tersebut adalah:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

C. ASAS BLACK DAN KEKEKALAN ENERGI

Asas Black menyatakan: "*Jika dua benda memiliki suhu yang berbeda bercampur akan terjadi proses kesetimbangan termal (suhu kedua benda sama)*", secara matematis dituliskan:

$$\Delta Q_{lepas} = \Delta Q_{serap}$$

D. PERPINDAHAN KALOR

Kalor dapat menjalar dari suatu zat ke zat lainnya dengan cara konduksi, konveksi, dan radiasi.

a. Konduksi

Konduksi adalah proses perpindahan kalor tanpa disertai perpindahan partikel. Laju hantaran kalor dapat dirumuskan dengan persamaan berikut.

$$P_{kond} = \frac{Q}{t} = kA\frac{\Delta T}{L}$$

dengan,

P_{kond} = laju kalor konduksi (J/s)

k = konduktivitas termal zat ($Js^{-1}m^{-1}\,°C^{-1}$)

A = luas penampang zat penghantar (m^2)

ΔT = perubahan suhu (K)

l = panjang penghantar (m)

Jika terdapat 2 jenis batang logam berbeda jenis yang disambungkan, maka persamaan laju hantaran kalor sebagai berikut.

$$P_{kon} = P_2 \Leftrightarrow k_1 A_1 \frac{\Delta T_1}{l_1} = k_2 A_2 \frac{\Delta T_2}{l_2}$$

b. Konveksi

Konveksi adalah perpindahan kalor yang disertai oleh perpindahan partikel zat atau perpindahan kalor yang dilakukan oleh pergerakan fluida akibat perbedaan massa jenis.
Laju hantaran kalor (H), secara matematis dinyatakan.

$$H = \frac{Q}{t} = h \cdot A \cdot \Delta T$$

dengan,
H = laju kalor konveksi (J/s)
k = koefisien konveksi termal zat ($J\ m^{-2}\ s^{-1} K^{-1}$)
A = luas penampang aliran (m^2)
ΔT = perubahan suhu (K)

c. Radiasi

Radiasi atau ***pancaran*** adalah perpindahan energi kalor dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Berdasarkan hukum Stefan–Boltzmann, laju energi kalor radiasi dirumuskan sebagai berikut.

$$P = \frac{Q}{t} = \sigma \cdot A \cdot T^4 \rightarrow \text{untuk benda hitam sempurna}$$

$$P = \frac{Q}{t} = e \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 \rightarrow \text{untuk setiap benda}$$

dengan,
P = laju energi kalor radiasi (watt)
σ = tetapan Stefan–Boltzmann = $5{,}67 \times 10^{-8}\ W/m^2\ K^4$

e = emisivitas $\rightarrow 0 \leq e \leq 1$
A = luas permukaan (m^2)
T = suhu benda (K)

E. PEMUAIAN

Pemuaian adalah bertambah besarnya ukuran suatu benda karena kenaikan suhu yang terjadi pada benda tersebut.

a. Pemuaian Zat Padat

Pemuaian zat padat terdiri atas pemuaian panjang, pemuaian luas, dan pemuaian volume/ruang yang dirumuskan sebagai berikut.

$$\Delta L = L - L_0 = \alpha L_0 \Delta T$$

dengan,
L_0 = panjang benda mula-mula (m)
L = panjang benda setelah pemuaian (m)
ΔL = pertambahan panjang benda akibat pemuaian (m)
α = koefisien muai panjang (/°C atau /K)
ΔT = perubahan (kenaikan) suhu (°C atau K)

$$\Delta A = A - A_0 = \beta A_0 \Delta T$$

dengan,
A_0 = luas benda mula-mula (m^2)
A = luas benda setelah pemuaian (m^2)
ΔA = pertambahan luas benda akibat pemuaian (m^2)
β = 2α = koefisien muai luas (/°C atau /K)
ΔT = perubahan (kenaikan) suhu (°C atau K)

$$\Delta V = V - V_0 = \gamma V_0 \Delta T$$

dengan,
V_0 = volume benda mula-mula (m^3)

V = volume benda setelah pemuaian (m^3)
ΔV = pertambahan volume benda akibat pemuaian (m^3)
γ = 3α = koefisien muai volume (/°C atau /K)
ΔT = perubahan (kenaikan) suhu (°C atau K)

b. Pemuaian Zat Cair

Pada zat cair hanya terjadi pemuaian volume/ruang saja, yang dirumuskan sebagai berikut.

$$\Delta V = V - V_0 = \gamma V_0 \Delta T$$

Pada zat cair, saat suhunya naik, volumenya bertambah sedangkan massanya tetap. Akibatnya, massa jenis zat berkurang. Massa jenis zat cair setelah pemuaian dinyatakan:

$$\rho = \frac{\rho_0}{(1+\gamma \Delta T)}$$

dengan ρ = massa jenis zat mula-mula (kg/m^3 atau g/cm^3).

c. Pemuaian Gas

Besar koefisien muai volume untuk semua jenis dinyatakan dengan rumus:

$$\gamma_{gas} = \frac{1}{273^0 C}$$

Pemuaian gas pada suhu tetap/isotermis (Hukum Boyle)

$$p_1V_1 = p_2V_2 \text{ atau } pV = \text{konstan}$$

dengan,
p = tekanan gas (N/m^2 atau Pa atau atm)
V = volume gas (m^3 atau cm^3)

Pemuaian gas pada tekanan tetap/isobarik (Hukum Charles/Gay Lussac)

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \text{ atau } \frac{V}{T} = \text{konstan}$$

dengan,
T = suhu mutlak gas (K).

Pemuaian gas pada volume tetap/isokhorik, dirumuskan sebagai berikut.

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \text{ atau } \frac{p}{T} = \text{konstan}$$

CONTOH SOAL DAN PEMBAHASAN

1. Termometer Fahrenheit yang diletakkan pada sebuah mesin menunjukkan suhu 101°F. Suhu tersebut setara dengan . . .
   A. 18,3°C
   B. 28,3°C
   C. 38,3°C
   D. 48,3°C
   E. 58,3°C

   Jawaban: C

   - suhu termometer = 101°F

   $$^\circ C = \tfrac{5}{9}\left(^\circ F - 32\right)$$
   $$= \tfrac{5}{9}(101 - 32)$$
   $$= \tfrac{5}{9} \times 69$$
   $$= 38{,}3$$

   Jadi, suhu 101°F setara dengan suhu 38,3°C.

2. Termometer X yang telah ditera menunjukkan angka –30 pada titik beku dan 90 pada titik didih air. Suhu 60°X sama dengan . . .

A. 20°C
B. 45°C
C. 50°C
D. 75°C
E. 80°C

Jawaban: D

- Termometer X: titik beku, $X_0 = -30°X$ dan titik didih, $X_i = 90°X$
- Termometer Celsius: titik beku air , $C_0 = 0°C$ dan titik didih air, $C_i = 100°C$

Suhu X = 60°X, apabila diukur dengan termometer Celsius nilainya adalah:

$$\frac{\Delta X}{\Delta X_0} = \frac{\Delta C}{\Delta C_0}$$

$$\frac{X - X_0}{X_i - X_0} = \frac{C - C_0}{C_i - C_0}$$

$$\frac{60 - (-30)}{90 - (-30)} = \frac{C - 0}{100 - 0}$$

$$\frac{90}{120} = \frac{C}{100}$$

$$C = \tfrac{3}{4} \times (100)$$

$$= 75°.$$

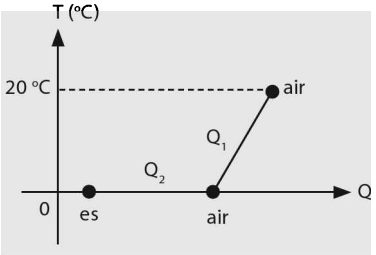
3. 100 gram air bersuhu 20°C diubah menjadi sebongkah es. Besar kalor yang dilepaskan oleh air tersebut adalah . . . (kalor jenis air 1 kal/g°C, kalor lebur es 80 kal/g)

A. 25 kilokalori
B. 15 kilokalori
C. 10 kilokalori
D. 5 kilokalori
E. 1 kilokalori

Jawaban: C

- massa air, m = 100 g
- kalor jenis air, c = 1 kal/g°C
- suhu awal air = 20°C
- kalor lebur es, $L_{es} = 80$ kal/g

sketsa kasus :



Banyak kalor yang dilepaskan oleh air pada proses tersebut adalah:

$Q = Q_1 + Q_2$
$= m\ c\ \Delta T + m\ L$
$= (100\ g)\ (1\ kal/g°C)(20°C - 0°C) + (100\ g)(80\ kal/g)$
$= 2000\ kal + 8000\ kal$
$= 10.000\ kal$
$= 10\ kkal.$

4. Ke dalam kalorimeter yang berisi 200 gram air bersuhu 20°C dimasukkan 220 gram air bersuhu 60°C, ternyata suhu campurannya 40°C. Kapasitas kalor alat kalorimeter sama dengan . . .

A. 1,01 kal/°C
B. 20 kal/°C
C. 22 kal/°C
D. 40 kal/°C
E. 62 kal/°C

Jawaban: B

- Sistem bersuhu tinggi (sistem yang melepas kalor):
  – massa air panas, $m_1 = 220\ g$
  – suhu mula-mula, $T_{01} = 60°C$
- Sistem bersuhu rendah (sistem yang menyerap kalor)
  – massa air dingin, $m_2 = 200\ g$
  – suhu mula-mula air dingin = suhu mula-mula kalorimeter, $T_{02} = 20°C$
  – massa kalorimeter = m_k
- suhu kesetimbangan, $T_a = 40°C$
- kalor jenis air, $c = 1\ kal/g°C$

Sistem/benda bersuhu rendah terdiri atas bejana kalorimeter dan air dingin dan sistem/benda bersuhu tinggi air panas, maka saat dicampur berlaku asas Black, yaitu:

$\Delta Q_{lepas} = \Delta Q_{serap}$

$m_1 \, c \, \Delta T_1 = m_k \, c_k \, \Delta T_1 + m_2 \, c \, \Delta T_2$

$m_1 \, c \, (T_{01} - T_a) = m_k \, c_k \, (T_a - T_{02}) + m_2 \, c \, (T_a - T_{02})$

(220 g)(1 kal/g°C)(60°C – 40°C) = $m_k \, c_k$ (40°C – 20°C) + (200 g) (1 kal/g°C) (40°C – 20°C)

(220 g)(1 kal/g°C)(20°C) = $m_k \, c_k$ (20°C) + (200 g) (1 kal/g°C) (20°C)

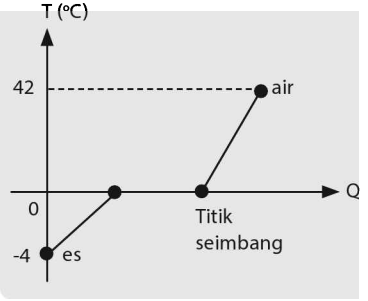
4400 kal = $m_k \, c_k$ (20°C) + 4000 kal

$m_k \, c_k$ (20°C) = 400 kal

$m_k \, c_k$ = 20 kal/°C

C_k = 20 kal/°C

Jadi, kapasitas kalor alat kalorimeter adalah 20 kal/°C.

5. 

Dalam sebuah bejana yang massanya diabaikan terdapat a gram air 42°C dicampur dengan b gram es – 4°C. Setelah diaduk ternyata 50% es melebur. Jika titik lebur es = 0°C, kalor jenis es = 0,5 kal/g°C, kalor lebur es = 80 kal/g, maka perbandingan a dan b adalah . . .

A. 1 : 4
B. 1 : 2
C. 1 : 1
D. 2 : 1
E. 3 : 2

Jawaban: C

- massa es, $m_e = b$
- massa air, $m_a = a$
- kalor jenis air, c_a = 1 kal/g°C
- kalor jenis es, c_e = 0,5 kal/g°C

- kalor lebur es, $L_e = 80$ kal/g
- suhu awal es, $T_0 = -4°C$
- suhu awal air, $T_1 = 42°C$

Berdasarkan azas Black, maka saat kesetimbangan berlaku:

$\Delta Q_{lepas} = \Delta Q_{serap}$

$m_a\, c_a\, \Delta T_a = m_e\, c_e\, \Delta T_e + m_e\, L_e$

(a g) (1 kal/g°C) (42°C – 0°C) = (b g) (0,5 kal/g°C) (0°C – [–4°C]) + (0,5 b g) (80 kal/g)

42a kal = 2b kal + 40b kal

42a = 42b

a : b = 42 : 42

= 1 : 1.

Jadi, perbandingan a : b = 1 : 1.

6. Sebuah ketel listrik berdaya 3 kW dan berisi 2 liter air 20°C dialiri arus selama 15 menit. Jika kalor jenis air 4,2 kJ/kg°C, kalor penguapan 2,3 $\times$ 10^3 kJ/kg dan dinding ketel tidak menyerap kalor, maka sisa air di dalam ketel adalah . . .

A. 0,8 liter
B. 1,1 liter
C. 1,5 liter
D. 1,8 liter
E. 2,0 liter

Jawaban: B

- daya ketel listrik, $P = 3$ kW $= 3 \times 10^3$ W
- lama waktu ketel listrik bekerja, $t = 15$ menit $= 900$ s
- kalor jenis air, $c = 4{,}2$ kJ/kg°C
- kalor penguapan, $L_u = 2{,}3 \times 10^3$ kJ/kg
- volume air mula-mula, $V_1 = 2$ liter $= 2$ dm^3 $= 2 \times 10^{-3}$ m^3.
- suhu air mula-mula, $T_1 = 20°C$
- suhu air mendidih, $T_2 = 100°C$

Ingat:

massa jenis air, $\rho = 1\ g/cm^3 = 10^3\ kg/m^3$, maka:

$m_1 = \rho V_1$

$= (10^3\ kg/m^3)\ (2 \times 10^{-3}\ m^3)$

$= 2\ kg.$

Air dalam ketel menyerap energi/kalor dari ketel listrik, sehingga berlaku:

$\Delta Q_{serap} = \Delta Q_{lepas}$

$m_1\, c\, \Delta T + m_u\, L_u = P\, t$

$(2\ kg)\ (4{,}2\ kJ/kg°C)\ (100°C - 20°C) + m_u\ (2300\ kJ/kg) = (3 \times 10^3\ W)\ (900\ s)$

$672\ kJ + m_u\ (2300\ kJ/kg) = 2.700 \times 10^3\ J$

$672\ kJ + m_u\ (2300\ kJ/kg) = 2.700\ kJ$

$m_u\ (2300\ kJ/kg) = 2.700\ kJ - 672\ kJ$

$m_u = 0{,}9\ kg$

Massa air yang telah menguap sekitar 0,9 kg, maka sisa air adalah:

$m_s = m_1 - m_u = 2\ kg - 0{,}9\ kg = 1{,}1\ kg$

Jika massa jenis air, $\rho = 1\ g/cm^3 = 10^3\ kg/m^3$, maka volume air yang tersisa dalam ketel adalah:

$$V_s = \frac{m_s}{\rho}$$

$$= \frac{(1{,}1\,kg)}{(1000\,kg/m^3)} \times \left(1000\,\ell/m^3\right)$$

$$= 1{,}1\ \ell \text{ liter.}$$

7. Dua batang X dan Y mempunyai luas penampang sama. Kedua batang diletakkan seperti pada gambar berikut.

Ujung bebas batang X suhunya dipertahankan 100°C dan ujung

bebas Y suhunya dijaga 0°C. Jika pada saat kesetimbangan termal dicapai suhu di sambungan X dan Y adalah 25°C maka perbandingan konduktivitas termal logam X dan Y adalah . . .

A. 1 : 6
B. 3 : 2
C. 2 : 3
D. 6 : 1
E. 25 : 24

Jawaban: C

- luas penampang kedua batang sama, $A_X = A_Y$
- suhu ujung bebas batang X, $T_X = 100°C$
- suhu ujung bebas batang Y, $T_Y = 0°C$
- suhu kesetimbangan pada sambungan, $T_a = 25°C$
- panjang logam X, $L_X = 60$ cm $= 0{,}6$ m $\rightarrow L_X = 2\,L_Y$
- panjang logam Y, $L_Y = 30$ cm $= 0{,}3$ m

Laju hantaran kalor sambungan logam tersebut adalah:

$P_X = P_Y$

$$k_X A_X \frac{\Delta T_X}{L_X} = k_Y A_Y \frac{\Delta T_Y}{L_Y}$$

$$k_X A_Y \frac{\Delta T_X}{2L_Y} = k_Y A_Y \frac{\Delta T_Y}{L_Y}$$

$$k_X \ \Delta T_x = 2k_Y \Delta T_x$$

$$k_X : k_Y = 2\Delta T_Y : \Delta T_x$$

$$= 2\,(T_a - T_Y) : (T_X - T_A)$$

$$= 2\,(25 - 0) : (100 - 25)$$

$$= 50 : 75$$

$$= 2 : 3.$$

8. Perbandingan laju kalor yang dipancarkan oleh sebuah benda hitam bersuhu 4000K dan 2000K adalah . . .

A. 1 : 1
B. 2 : 1
C. 4 : 1
D. 8 : 1
E. 16 : 1

Jawaban: E

- suhu mutlak pertama benda hitam, $T_1 = 4000K$
- suhu mutlak kedua benda hitam, $T_2 = 2000K$

Karena benda sama ($e_1 = e_2$ dan $A_1 = A_2$), maka perbandingan laju kalornya adalah:

$$p_1 : p_2 = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^4$$
$$= \left(\frac{4000K}{2000K}\right)^4$$
$$= \frac{16}{1}$$
$$= 16 : 1.$$

9. Diketahui batang besi homogen yang salah satu ujungnya dipanaskan memiliki luas penampang 17 cm^2. Konduktivitas termal besi 4×10^5 J/msK. Jika panjang batang 1 meter dan perbedaan suhu kedua ujung 30°K, maka besarnya kalor yang merambat dalam 2 sekon adalah . . .

A. $1{,}13 \times 10$ J
B. $2{,}27 \times 10$ J
C. $6{,}80 \times 10^2$ J
D. $4{,}08 \times 10^4$ J
E. $8{,}02 \times 10^4$ J

Jawaban: D.

- luas penampang batang besi homogen, $A = 17\ cm^2 = 17 \times 10^{-4}\ m^2$.
- konduktivitas termal besi, $k = 4 \times 10^5$ J/msK
- panjang batang besi homogen, $L = 1$ m
- perbedaan suhu kedua ujung, $\Delta T = 30°K$
- lama perambatan kalor, $t = 2$ s.

Besarnya kalor yang merambat pada batang tersebut adalah:

$$Q = \frac{kA\Delta T}{L}t$$

$$= \frac{(4\times10^{5}\,J/msK)(17\times10^{-4}\,m^{2})(30K)}{(1m)}(2s)$$

$$= 40.800\ J$$

$$= 4{,}08\times10^{4}\ J$$

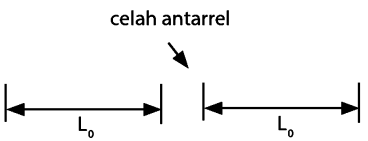
10. Panjang batang rel kereta api masing-masing 10 meter, dipasang pada suhu 20°C. Diharapkan pada suhu 30° rel tersebut saling bersentuhan. Koefisien muai panjang batang rel kereta api 12×10^{-6}/°C. Jarak antara kedua batang yang diperlukan pada suhu 20°C adalah . . .

A. 3,6 mm
B. 2,4 mm
C. 1,2 mm
D. 0,8 mm
E. 0,6 mm

Jawaban: B

- panjang batang rel mula-mula, $L_0 = 10$ m
- suhu mula-mula batang rel, $T_1 = 20°C$
- suhu akhir batang rel, $T_2 = 30°C$
- koefisien muai panjang batang, $\alpha = 12 \times 10^{-6}$/°C

Sketsa kasus :



Pertambahan panjang masing-masing batang rel adalah:

$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$

$= (12 \times 10^{-6}/°C)\ (10\ m)\ (30°C - 20°C)$

$= (12 \times 10^{-6}/°C)\ (10\ m)\ (10°C)$

$= 12 \times 10^{-4}\ m$

$= 12 \times 10^{-1}\ mm$

$= 1{,}2\ mm$

Karena masing-masing batang pertambahan panjangnya sama, maka jarak antara kedua batang yang diperlukan pada suhu 20°C adalah:

$= 2 \times \Delta L$

$= 2 \times 1{,}2$ mm

$= 2{,}4$ mm.

LATIHAN SOAL 10

1. Sebuah termometer X saat digunakan untuk mengukur suhu air mendidih menunjukkan suhu pada skala termometer itu sebesar 140^0X . Ketika termometer tersebut digunakan untuk mengukur suhu es mencair menunjukkan skala 20^0X. Berapa besar konversi skala termometer X dengan termometer terhadap termometer Celcius adalah . . . .

   A. $C = \frac{5}{6}(X - 20)$
   B. $C = \frac{5}{6}(X + 20)$
   C. $C = \frac{6}{5}(X - 20)$
   D. $C = \frac{6}{5}(X + 20)$
   E. $C = \frac{5}{6}X$

2. Dua buah termometer A dan B, perbandingan besar skalanya adalah A : (B + 16) = 2 : 3. Termometer *A* digunakan untuk mengukur suhu air mendidih, ternyata menunjukkan hasil pengukuran 98^0A. Jika diukur dengan termometer *B* menunjukkan skala . . .

   A. $100\ ^0$B
   B. $121\ ^0$B
   C. $131\ ^0$B
   D. $141\ ^0$B
   E. $151\ ^0$B

3. Sebuah termometer *X* setelah ditera dengan termometer Celsius didapat 40°C = 80°X dan 20°C = 50°X. Jika suhu sebuah benda 80°C, maka termometer X menunjukkan skala . ..

   A. 100°X
   B. 110°X
   C. 120°X
   D. 130°X
   E. 140°X

4. Es bermassa M gram bersuhu 0°C, dimasukkan ke bejana khusus yang berisi air bermassa 340 gram suhu 20°C yang ditempatkan. Anggap bejana tidak menyerap/melepaskan kalor. Jika $L_{es} = 80$ kal/g, $c_{air} = 1$ kal/g°C, semua es mencair dan kesetimbangan termal dicapai pada suhu 5°C, maka massa es (M) adalah . . ..
   A. 60 gram
   B. 68 gram
   C. 75 gram
   D. 80 gram
   E. 170 gram

5. Air bermassa 100 g bersuhu 20°C berada dalam wadah. Wadah tersebut terbuat dari bahan yang memiliki kalor jenis 0,20 kal/g°C dan bermassa 200 g. Kemudian ke dalam wadah tersebut dituangkan air panas bersuhu 90°C sebanyak 800 g. Jika kalor jenis air adalah 1 kal/g°C, maka suhu campuran sebesar . . ..
   A. 70,57°C
   B. 73,57°C
   C. 75,57°C
   D. 77,57°C
   E. 79,57°C

6. Jika energi yang diradiasikan per sekon oleh benda hitam pada suhu T_1 besarnya 16 kali energi yang diradiasikan pers sekon pada suhu T_0, maka T_1 adalah . . .
   A. $2T_0$
   B. $2{,}5T_0$
   C. $3T_0$
   D. $4T_0$
   E. $5T_0$

7. Karena suhu dinaikkan dari 0°C menjadi 100°C, suatu batang baja yang panjangnya 1 m mengalami pertambahan panjang sebesar 1 mm. Jika batang baja dengan jenis yang sama panjangnya 60 cm dipanaskan pada suhu yang sama, maka pertambahan panjang batang tersebut adalah . . ..
   A. 0,6 mm
   B. 0,72 mm
   C. 1 mm
   D. 1,2 mm
   E. 2 mm

8. Panjang sebuah batang logam homogen adalah 100 cm pada suhu 25 °C. Jika koefisien muai panjang batang adalah $1{,}33 \times 10^{-5}$/°C,

maka panjang batang logam tersebut Jika dipanaskan sampai suhu 100°C adalah . . . .

A. 100,1 cm
B. 101 cm
C. 110 cm
D. 110,1 cm
E. 111 cm

9. Dua buah batang besi *a* dan *b* jenisnya sama, masing-masing panjangnya 4 m dan 6 m pada temperatur 20°C. Batang besi *a* dipanasi hingga 50°C, panjangnya menjadi 4,01 m. Jika batang besi *b* dipanasi hingga 60 °C, panjangnya menjadi . . .

A. 6,01 m
B. 6,02 m
C. 6,12 m
D. 6,22 m
E. 6,32 m

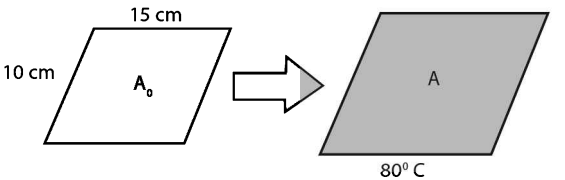
10. Sebuah bejana memiliki volume 1 liter pada suhu 25° C. Jika koefisien muai panjang bejana 2×10^{-5}/°C, maka volume bejana pada suhu 75°C adalah . . . .

A. 0,003 liter
B. 0,033 liter
C. 1,003 liter
D. 1,006 liter
E. 1,033 liter

11. Sebuah benda yang memiliki luas permukaan 2 m^2 dan bersuhu 127°C memancarkan energi selama 1 menit. Jika benda dianggap hitam sempurna, maka besar energi yang dipancarkan adalah . . ..

A. 43,776 J
B. 87,552 J
C. 175,104 J
D. 350.208 J
E. 700.416 J

12. Sebuah pelat logam terbuat dari bahan perunggu ($\alpha = 1{,}8 \times 10^{-5}$ /°C) dipanaskan dari suhu 0°C sampai 80°C dengan ukuran seperti pada gambar berikut.



Pertambahan luas pelat tersebut adalah . . ..

A. $4{,}12 \times 10^{-1}$ cm^2
B. $4{,}32 \times 10^{-1}$ cm^2
C. $4{,}40 \times 10^{-1}$ cm^2
D. $4{,}62 \times 10^{-1}$ cm^2
E. $4{,}82 \times 10^{-1}$ cm^2

13. Sebuah bola berongga terbuat dari perunggu (koefisien muai linier $\alpha = 1{,}8 \times 10^{-6}$ m/°C) pada suhu 0°C jari-jarinya = 1 m. Jika bola tersebut dipanaskan sampai 80°C, maka pertambahan luas permukaan bola adalah sebesar . . ..

A. $0{,}83 \times 10^{-2}\ \pi$ m^2
B. $1{,}02 \times 10^{-2}\ \pi$ m^2
C. $1{,}11 \times 10^{-2}\ \pi$ m^2
D. $1{,}15 \times 10^{-2}\ \pi$ m^2
E. $1{,}21 \times 10^{-2}\ \pi$ m^2

14. Sepotong tembaga dijatuhkan dari ketinggian 490 meter di atas lantai. Kalor yang terjadi pada proses tumbukan dengan lantai 60% nya diserap oleh tembaga untuk kenaikan suhu. Jika kalor jenis tembaga 420 J/kg°C, percepatan gravitasi bumi 10 m/s^2, maka kenaikan suhu tembaga adalah . . ..

A. 4°C
B. 7°C
C. 9°C
D. 12°C
E. 16°C

15. Seseorang bermaksud mendidihkan 1,2 kg air dari 28°C dalam suatu panci berkapasitas kalor 50 kalori/°C dengan menggunakan kompor listrik 500 watt, 220 volt. Waktu yang diperlukan adalah . . . .

A. 3,0 menit
B. 7,5 menit
C. 8,0 menit
D. 12,0 menit
E. 12,5 menit

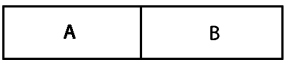
16. Zat cair yang massanya 10 kg dipanaskan dari suhu 25°C menjadi 75°C, memerlukan panas sebesar 4×10^5 joule. Kalor jenis zat cair tersebut adalah . . .

A. 200 J/kg K
B. 400 J/kg K
C. 600 J/kg K
D. 800 J/kg K
E. 1.000 J/kg K

17. Air terjun yang tingginya 12 m menerjunkan air 1000 m^3/s dan dimanfaatkan oleh Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA). Jika percepatan gravitasi 9,8 m/s^2 dan seluruh daya listrik terpakai untuk memanaskan 1000 m^3 air, maka kenaikan suhu air per sekon adalah ....

A. $0{,}1 \times 10^{-2}\,°C$
B. $2{,}8 \times 10^{-2}\,°C$
C. $4{,}2 \times 10^{-2}\,°C$
D. $28{,}0 \times 10^{-2}\,°C$
E. $42{,}0 \times 10^{-2}\,°C$

18. Dua batang A dan B dengan ukuran yang sama tetapi jenis logam yang berbeda disambungkan seperti diperlihatkan pada gambar.



Ujung kiri batang *A* bersuhu 80°C dan ujung kanan batang *B* bersuhu 5°C. Jika koefisien konduksi kalor batang *B* adalah dua kali koefisien konduksi kalor batang *A*, maka suhu pada bidang batas *A* dan batang *B* adalah ....

A. 30°C
B. 45°C
C. 50°C
D. 55°C
E. 60°C

19. Sebuah balok es dengan massa 50 kg, pada 0°C, didorong diatas papan horizontal yang juga mempunyai suhu 0°C sejauh 21 m. Ternyata 25 gram es mencair karena gesekan. Jika kalor lebur es = 80 kal/g, maka besarnya koefisien gesek adalah ...

A. 0,5
B. 0,6
C. 0,7
D. 0,8
E. 0,9

20. Suatu kalorimeter berisi es sebanyak 36 g pada suhu –6°C. Kapasitas kalor kalorimeter sebesar 27 kal/K. Kemudian kalorimeter tersebut dituangkan alkohol (kalor jenis 0,58 kal/g.K) pada suhu 50°C yang menyebabkan suhu akhir menjadi 8°C. Massa alkohol yang dituangkan adalah .... (kalor jenis es = 0,5 kal/g.K, kalor lebur es 80 kal/g)

A. 108 gram
B. 150 gram
C. 200 gram
D. 288 gram
E. 300 gram

21. Sebuah jendela kaca yang memiliki ukuran 200 cm × 150 cm dan tebal 6 mm, bersuhu 30°C pada permukaan luarnya. Jika suhu permukaan dalamnya sebesar 20°C dan koefisien konduksi kaca p kal/m.s.K, maka jumlah kalor yang masuk tiap menit melalui jendela ini adalah . . ..
A. 5p kkal
B. 50p kkal
C. 100p kkal
D. 200p kkal
E. 300p kkal

22. Tenaga total suatu sumber radiasi benda hitam bersuhu mutlak *T* yang dikumpulkan selama 81 menit, digunakan untuk mendidihkan air dalam suatu bejana dari suhu awal yang sama dengan suhu kamar. Jika suhu benda hitam dinaikkan menjadi 1,5 *T*, maka waktu yang diperlukan dalam menit untuk proses pendidihan jumlah air yang sama dari suhu kamar berkurang menjadi. . .
A. 64
B. 54
C. 36
D. 24
E. 16

23. Sebuah kubus dengan volume V terbuat dari bahan yang koefisien muai panjangnya α. Jika suhu kubus dinaikkan sebesar ΔT, maka luasnya akan bertambah sebesar . . .
A. $\alpha V \Delta T$
B. $6\alpha V \Delta T$
C. $12\alpha V \Delta T$
D. $6\alpha V^{2/3} \Delta T$
E. $12\alpha V^{2/3} \Delta T$

24. Alat pemanas celup digunakan untuk mendidihkan sejumlah air. Spesifikasi daya dan tegangan pada alat tersebut adalah 200 W dan 220 V. Jika alat tersebut dipasang pada tegangan 110 V dan digunakan untuk mendidihkan sejumlah air yang sama, maka waktu yang diperlukan . . .
A. 2 kali lebih lama
B. 3 kali lebih lama
C. 4 kali lebih lama
D. 5 kali lebih lama
E. 6 kali lebih lama

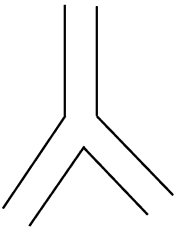
25. Jika 1 kg es pada suhu 0°C dicampur dengan 0,5 kg air pada suhu 0°C, maka . . .
    A. sebagian air membeku
    B. sebagian es mencair
    C. semua es mencair
    D. semua air membeku
    E. jumlah massa es dalam air tetap

26. Lima kilogram es bersuhu –22°C dipanaskan sampai seluruh es tersebut mencair dengan suhu 0°C. Jika kalor laten es 333 kJ/kg dan kalor jenis es 2.100 J/kg°C, maka jumlah kalor yang dibutuhkan adalah . . ..
    A. 1.496 kJ
    B. 1.596 kJ
    C. 1.696 kJ
    D. 1.796 kJ
    E. 1.896 kJ

27. Suatu benda hitam pada suhu 27°C memancarkan energi R J/s. Benda hitam tersebut dipanasi hingga suhunya menjadi 327°C. Energi yang dipancarkan menjadi . . ..
    A. 2R J
    B. 4R J
    C. 6R J
    D. 12R J
    E. 16R J

28. Kalor jenis es 0,5 kal/g °C, kalor lebur es 80 kal/g dan kalor jenis air 1 kal/g °C. Setengah kilogram es bersuhu –20°C dicampur dengan sejumlah air bersuhu 20°C, sehingga mencapai keadaan akhir seluruhnya bersuhu 0°C. Massa air mula-mula adalah . . . .
    A. 1,50 kg
    B. 2,25 kg
    C. 3,75 kg
    D. 4,50 kg
    E. 6,00 kg

29. Tiga batang logam yang berbeda jenis dilas menjadi bentuk seperti gambar berikut.



Ujung bebas batang pertama bersuhu 100°C, sedangkan dua ujung batang lainnya bersuhu 0°C. Ketiga batang memiliki panjang dan luas penampang sama, sedangkan konduktivitas termal batang pertama, kedua dan ketiga berturut-turut k_1, k_2, k_3. Jika hubungan antara ketiganya adalah $k_1 = 2$, $k_2 = 3k_3$, maka suhu di sambungkan ketiga batang tersebut adalah mendekati . . ..

A. 10°C
B. 20°C
C. 40°C
D. 60°C
E. 80°C

30. Dalam botol terdapat 230 gram kopi pada suhu 90°C. Ditambahkan susu sebanyak 20 gram bersuhu 5°C. Jika $c_a = c_k = c_s = 1{,}00$ kal/g°C dan tidak ada kalor percampuran maupun kalor terserap botol termos, maka suhu campurannya adalah . . ..

A. 5°C
B. 20°C
C. 47°C
D. 83°C
E. 90 °C

Fisika (bahasa Yunani: fysikós, "alamiah" atau fýsis, "alam") adalah ilmu tentang alam dalam makna yang terluas.

TEORI KINETIK GAS

11

A. GAS IDEAL

Sifat-sifat gas ideal, antara lain:

- Gas terdiri dari partikel-partikel yang disebut molekul.
- Partikel-partikel gas yang terbentuk bola padat yang selalu bergerak cepat dan acak.
- Partikel-partikel gas dalam lintasan lurus dan geraknya hanya disebabkan oleh tumbukan dengan partikel lain atau dengan dinding ruangnya.
- Sebuah tumbukan partikel-partikel gas, baik antara partikel maupun dengan dinding pembatasnya bersifat lenting sempurna.
- Selang waktu tumbukan antara satu partikel dengan partikel lainnya berlangsung sangat singkat.
- Volume partikel-partikel gas sangat kecil dibandingkan dengan ruang yang ditempatinya sehingga dapat diabaikan.
- Untuk semua partikel gas berlaku hukum-hukum Newton tentang gerak.

B. HUKUM BOYLE – GAY LUSSAC

a. Hukum Boyle

Hukum Boyle yang menyatakan *"Jika suatu gas yang berada dalam bejana tertutup (tidak bocor) dijaga tetap maka tekanan gas berbanding terbalik dengan volumenya".*

$$pV = \text{tetap}$$
$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

b Hukum Cbales dan Gay Lussac

Hukum Charles dan Gay Lussac menyatakan: *"Jika tekanan gas yang berada dalam bejana tertutup (tidak bocor) dijaga tetap maka volume gas sebanding dengan suhu mutlaknya."*

$$\frac{V}{T} = \text{tetap}$$
$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

c. Hukum Boyle-Gay Lussac

Hukum Boyle- Gay Lussac menyatakan: *"Perubahan suhu gas di dalam ruang tertutup akan diikuti oleh perubahan tekanan dan volume."*

$$\frac{pV}{T} = \text{tetap}$$
$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

C. PERSAMAAN GAS IDEAL

Persamaan umum gas ideal dinyatakan:

$$pV = nRT \text{ atau } pV = NkT$$

dengan,

p = tekanan (pascal atau Pa)
V = volume (m^3)
T = suhu gas mutlak (kelvin atau K)
n = jumlah mol gas (mol)
N = banyaknya partikel
k = konstanta Boltzmann ($1{,}38 \times 10^{-23}$ J/K)
R = konstanta gas umum = 8,314 J/mol K = $8{,}314 \times 10^3$ J/kmol K
= (0,0821 L.atm/mol.K)

Jumlah mol (n) gas dapat ditentukan sebagai berikut.

$$n = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{Mr}$$

dengan,

N_A = bilangan Avogadro = $6{,}023 \times 10^{23}$ partikel/mol
M_r = massa molekul relatif

D. ENERGI KINETIK GAS IDEAL

Setiap partikel gas bergerak dengan energi kinetik :

$$Ek = \tfrac{3}{2}kT$$

Karena gas ideal hanya memiliki energi kinetik saja, maka energi kinetik gas disebut juga sebagai energi dalam (U).

Dengan demikian, energi dalam untuk gas ideal dapat dirumuskan sebagai berikut.

$U = \frac{3}{2}NkT = \frac{3}{2}nRT \rightarrow$ gas monoatomik

$U = \frac{3}{2}NkT \rightarrow$ gas diatomik (suhu rendah ± 300K)

$U = \frac{5}{2}NkT \rightarrow$ gas diatomik (suhu sedang ± 500K)

$U = \frac{7}{2}NkT \rightarrow$ gas diatomik (suhu tinggi ± 700K)

E. KECEPATAN PARTIKEL GAS IDEAL

Dari persamaan energi kinetik dan energi dalam gas ideal, kita peroleh kecepatan partikel gas ideal, yaitu:

$$v = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3nRT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{Mr}} = \sqrt{\frac{3p}{\rho}}$$

Dengan

p = tekanan (Pa)
T = suhu gas mutlak (K)
n = jumlah mol gas (mol)
N = banyaknya partikel
k = konstanta Boltzmann ($1{,}38 \times 10^{-23}$ J/K)
R = konstanta gas umum = 8,314 J/mol K = $8{,}314 \times 10^{3}$ J/kmol K
= (0,0821 L.atm/mol.K)
m = massa 1 molekul gas (kg)
v = kecepatan partikel gas (m/s)

F. TEKANAN GAS IDEAL

Tekanan dapat dihitung dengan menghitung laju perubahan momentum molekul-molekul gas atau impuls gas karena bertumbukan dengan dinding tempatnya.

Tekanan pada gas ideal dirumuskan :

$$p = \frac{1}{3}\frac{Nmv_{rms}^{\ 2}}{V}$$

Jika diketahui energi kinetiknya, maka besar tekanan gas adalah 2/3 dari energi kinetik dari banyak molekul gas persatuan volume. Jadi dapat dituliskan dalam persamaan berikut.

$$p = \frac{2}{3} \times (\tfrac{1}{2}mv^2)\frac{N}{V}$$

$$p = \frac{2}{3}Ek\left(\frac{N}{V}\right)$$

dengan,

p = tekanan gas (Pa = Nm^2)
m = massa 1 molekul gas (kg)
v = kecepatan rata-rata partikel gas (m/det)
N = jumlah partikel gas
V = volume gas (m^3)
Ek = energi kinetik gas (joule)

CONTOH SOAL DAN PEMBAHASAN

1. Diketahui di dalam sebuah bejana yang memiliki volume 1 m^3 berisi 10 mol gas monoatomik dengan energi kinetik molekul rata-rata 1,5 $\times 10^{-20}$ joule (bilangan Avogadro 6,02 $\times 10^{23}$ molekul/mol). Tekanan gas dalam bejana adalah ....

   A. 6,02 $\times$ 10^2 N/m^2
   B. 6,02 $\times$ 10^3 N/m^2
   C. 6,02 $\times$ 10^4 N/m^2
   D. 6,02 $\times$ 10^5 N/m^2
   E. 6,02 $\times$ 10^6 N/m^2

   Jawaban: C

- volume gas ideal monoatomik, $V = 1\ m^3$
- jumlah mol gas, $n = 10$ mol
- energi kinetik molekul, $Ek = 1{,}5 \times 10^{-20}$ J
- bilangan Avogadro, $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ molekul/mol

Jumlah molekul dalam bejana:

$$N = n \times N_A$$
$$= (10 \text{ mol}) \times (6{,}02 \times 10^{23} \text{ molekul/mol})$$
$$= 60{,}2 \times 10^{23} \text{ molekul}$$

Tekanan gas dalam bejana:

$$p = \frac{2}{3}\frac{NEk}{V}$$
$$= \left(\frac{2}{3}\right) \times \frac{(60{,}2 \times 10^{23} \text{molekul}) \times (1{,}5 \times 10^{-20} \text{J})}{(1 \text{m}^3)}$$
$$= \tfrac{2}{3} \times 90{,}3 \times 10^3 \text{ N/m}^2$$
$$= 6{,}02 \times 10^4 \text{ N/m}^2.$$

2. Sebuah tangki bervolume 3.000 cm^3 berisi gas oksigen pada suhu 20°C dan tekanan relatif pada alat 25 atm. Jika massa molar oksigen 32 kg/kmol, tekanan udara 1 atm, maka massa oksigen di dalam tangki tersebut adalah . . .

A. 0,1 kg
B. 0,2 kg
C. 0,3 kg
D. 0,4 kg
E. 0,5 kg

Jawaban: A

- volume gas oksigen, $V = 3000\ cm^3 = 3 \times 10^{-3}\ m^3$
- suhu gas oksigen, $T = 20°C = (20 + 273)K = 293°K$
- tekanan relatif pada alat, $p_r = 25$ atm
- massa molar oksigen, $M = 32$ kg/kmol
- tekanan udara, $P_0 = 1$ atm

Total tekanan pada sistem adalah:

$$p = p_0 + p_r$$
$$= 1 \text{ atm} + 25 \text{ atm}$$

$= 26$ atm

$= 26 \times 10^5$ Pa.

Massa gas oksigen diperoleh dari persamaan berikut.

$$pV = nRT$$

$$pV = \frac{m}{M}RT$$

$$m = \frac{p \cdot V \cdot M}{R \cdot T}$$

$$= \frac{(26 \times 10^5 \text{Pa}) \times (3 \times 10^{-3} \text{m}^3) \times (32 \text{kg/kmol})}{(8{,}314 \times 10^3 \text{J/molK}) \times (293 \text{K})}$$

$$= 0{,}1 \text{ kg}$$

3. Sebuah tabung dengan volume 0,3 m^3 mengandung 2 mol Helium pada suhu 27°C. Dengan menganggap Helium sebagai gas ideal, energi kinetik gas Helium adalah . . . ($N_0 = 6{,}02 \times 10^{23}$ molekul/mol)

A. 7482,6 J
B. 7282,6 J
C. 6502,8 J
D. 6434,0 J
E. 4300,3 J

Jawaban: A

- volume gas helium dalam tabung, V = 0,3 m^3
- molaritas gas Helium, n = 2 mol
- suhu gas helium, T = 27°C = (27 + 273)K = 300K

Energi kinetik gas Helium adalah:

$$Ek = \tfrac{3}{2}NkT$$

$$= \tfrac{3}{2}nRT$$

$$= \tfrac{3}{2} \times (2\text{mol}) \times (8{,}314 \text{ J/molK}) \times (300\text{K})$$

$$= 7482{,}6 \text{ J.}$$

4. Laju efektif (V_{rms}) gas oksigen bermassa 32 kg/kmol pada suhu 27°C adalah . . .

A. 483 m/s
B. 443 m/s
C. 403 m/s
D. 383 m/s
E. 343 m/s

Jawaban: A

- massa oksigen, M = 32 kg/kmol
- suhu oksigen, T = 27°C = (273 + 27)K = 300K
- konstanta Boltzman, $k = 1{,}38 \times 10^{-23}$ J/K
- bilangan Avogadro, $N_0 = 6{,}02 \times 10^{23}$ partikel/mol = $6{,}02 \times 10^{26}$ partikel/kmol

Massa satu partikel oksigen adalah:

$$m = \frac{M}{N_A} = \frac{32 \text{kg/kmol}}{6{,}02 \times 10^{26} \text{/kmol}} = 5{,}32 \text{ x } 10^{-26} \text{ kg}$$

Laju efektif gas oksigen adalah:

$$v = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

$$= \sqrt{\frac{3 \times (1{,}38 \times 10^{-23} \text{ J/mol}) \times (300\text{K})}{(5{,}32 \times 10^{-26} \text{ kg})}}$$

$$= 483 \text{ m/s}.$$

5. Gas He (Mr = 4 g/mol) pada suhu 27° C dan volume 1 liter massanya 8 gram. Nilai energi dalam gas tersebut adalah . . . ($R = 8{,}31 \times 10^3$ J/mol K).

A. 7.277 J
B. 7.379 J
C. 7.477 J
D. 7.479 J
E. 7.597 J

Jawaban: D

- massa gas helium, m = 8 g
- molekul relatif, Mr = 4 g/mol
- suhu gas helium, T = 27°C = (27 + 273)K = 300 K
- tetapan gas umum, R = 8,31 J/mol K

Suhu gas 300K (suhu rendah), maka energi dalam gas helium adalah:

$$U = \tfrac{3}{2}NkT$$

$$= \frac{3}{2}\frac{mRT}{Mr}$$

$$= \frac{3}{2}\frac{(8g)\times(8{,}31J/molK)\times(300K)}{(4g/mol)}$$

$$= 7479 \text{ J.}$$

6. Rapat massa gas ideal pada suhu T dan tekanan p adalah ρ. Jika tekanan gas tersebut dijadikan 1,5 p dan suhunya diturunkan menjadi 0,3T maka rapat massa gas dalam keadaan terakhir ini adalah . . .

   A. 0,3 ρ
   B. 0,7 ρ
   C. 3 ρ
   D. 5 ρ
   E. 7 ρ

   Jawaban: D

   - suhu gas mula-mula, $T_1 = T$
   - tekanan gas mula-mula, $p_1 = p$
   - rapat massa gas mula-mula, $\rho_1 = \rho$
   - suhu gas akhir, $T_2 = 0{,}3\ T$
   - tekanan gas akhir, $P_2 = 1{,}5\ P$

   Persamaan gas ideal:

$$p\ V = n\ R\ T$$

$$p\ V = \frac{m}{M} R\ T$$

$$p\ M = \frac{m}{V} R\ T$$

$$p\ M = \rho\ R\ T$$

Rapat massa gas akhir dapat ditentukan sebagai berikut.

$$\rho_1 : \rho_2 = \frac{p_2 M}{RT_2} : \frac{P_1 M}{RT_1}$$
$$= \frac{1{,}5P}{0{,}3T} : \frac{P}{T}$$
$$= \frac{15}{3}$$
$$= 5$$
$$\Leftrightarrow \rho_2 = 5\,\rho_1$$
$$= 5\,\rho.$$

7. Diketahui sebuah tangki dengan kapasitas 10.000 liter berisi gas hidrogen pada tekanan 10 atm dan bersuhu 27°C. Tangki tersebut bocor sehingga tekanannya menjadi 8 atm. Hitunglah banyaknya gas hidrogen yang keluar . . .
   A. 1.626 gram
   B. 1.526 gram
   C. 2.626 gram
   D. 1.026 gram
   E. 3.626 gram

   Jawaban: A

   - volume gas hidrogen mula-mula, V_1 = 10.000 liter
   - tekanan gas hidrogen mula-mula, p_1 = 10 atm
   - suhu gas hidrogen mula-mula, T_1 = 27°C = (27 + 273)K = 300 K
   - tekanan gas hidrogen akhir, p_2 = 8 atm
   - konstanta gas umum, R = 0,082 liter.atm/mol.K

   Banyaknya mol gas hidrogen dalam tangki mula-mula dan akhir adalah sebagai berikut.

$$n_1 = \frac{P_1 V_1}{RT_1}$$

$$= \frac{(10\,atm) \times (10.000\,liter)}{(0{,}082\,lt.atm/molK) \times (300K)}$$

$$= 4{,}065 \text{ x } 10^3 \text{ mol}$$

$$n_2 = \frac{P_2 V_2}{RT}$$

$$= \frac{(8\,atm) \times (10.000\,liter)}{(0{,}082\,lt.atm/molK) \times (300K)}$$

$$= 3{,}252 \text{ x } 10^3 \text{ mol}$$

Banyak mol gas hidrogen yang keluar adalah:

$n = n_1 - n_2$
$= 4{,}065 \times 10^3 \text{ mol} - 3{,}252 \times 10^3 \text{ mol}$
$= 813 \text{ mol}$

Massa gas hidrogen yang keluar adalah:

$m = n \times Mr$
$= 813 \text{ mol} \times 2 \text{ g/mol}$
$= 1.626 \text{ gram.}$

8. Sebuah silinder mengandung 20 liter gas pada tekanan $2{,}5 \times 10^6$ Pa. Keran pada ujung silinder dibuka sehingga tekanannya turun menjadi $2{,}0 \times 10^6$ Pa, kemudian keran ditutup. Jika suhu dijaga tetap, maka volume gas yang keluar pada atmosfer yang bertekanan 10^5 Pa adalah . . .

A. 150 liter
B. 100 liter
C. 50 liter
D. 15 liter
E. 5 liter

Jawaban B

- volume gas mula-mula, $V_1 = 20$ liter $= 2 \times 10^{-2}$ m^3
- tekanan gas mula-mula, $P_1 = 2{,}5 \times 10^6$ Pa
- tekanan gas akhir, $P_2 = 2{,}0 \times 10^6$ Pa
- tekanan atmosfer, $P_0 = 10^5$ Pa

Proses berlangsung pada suhu tetap, maka volume gas dalam silinder akhir setelah kran dibuka adalah:

$$V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2}$$

$$= \frac{(2{,}5 \times 10^6\ \text{Pa}) \times (2 \times 10^{-2}\ \text{m}^3)}{(2{,}0 \times 10^6\ \text{Pa})}$$

$$= 2{,}5 \times 10^{-2}\ \text{m}^3$$

$$= 25\ \text{liter}.$$

Volume gas yang keluar dari kran pada tekanan P_2 adalah :

$\Delta V = 25$ liter $- 20$ liter

$\Delta V = 5$ liter.

Volume gas yang keluar pada tekanan atmosfer adalah:

$$V_0 = \frac{P_2}{P_0} \times \Delta V$$

$$= \frac{2 \times 10^6\ \text{Pa}}{10^5\ \text{Pa}} \times 5\ \text{liter}$$

$$= 100\ \text{liter}.$$

9. Di dalam ruangan tertutup terdapat gas yang tekanannya $3{,}2 \times 10^5$ N/m^2. Jika massa jenis partikel gas tersebut 6 kg/m^3, maka kecepatan efektif tiap partikel gas tersebut adalah . . .

A. 200 m/s
B. 250 m/s
C. 275 m/s
D. 300 m/s
E. 400 m/s

Jawaban: E

- tekanan gas, $p = 3{,}2 \times 10^5$ N/m^2
- massa jenis gas, $\rho = 6$ kg/m^3

Kecepatan efektif gas tersebut adalah:

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}}$$

$$= \sqrt{\frac{3 \times (3{,}2 \times 10^5\ \text{N/m}^2)}{6\ \text{kg/m}^3}}$$

$$= \sqrt{\frac{9{,}6 \times 10^5 \text{ N/m}^2}{6 \text{ kg/m}^3}}$$
$$= 400 \text{ m/s}.$$

10. Di angkasa luar terdapat kira-kira 1 atom hidrogen tiap 1 cm^3 dengan suhu 3,5 K. Jika massa atom hidrogen adalah 1 g/mol, berapa tekanan udara pada tempat tersebut . . .

A. $4{,}83 \times 10^{-17}$ Pa
B. $5{,}83 \times 10^{-17}$ Pa
C. $6{,}83 \times 10^{-17}$ Pa
D. $7{,}83 \times 10^{-17}$ Pa
E. $8{,}83 \times 10^{-17}$ Pa

Jawaban: A

- jumlah atom, N = 1 atom
- volume atom hidrogen, V = 1 cm^3 = 10^{-6} m^3.
- suhu gas hidrogen, T = 3,5 K
- massa atom hidrogren, Ar(H) =1 g/mol = 1 kg/kmol
- tetapan gas umum, R = 8,31 × 10^3 J/kmol K

Laju efektif atom tersebut adalah:

$$v = \sqrt{\frac{3RT}{m}}$$
$$= \sqrt{\frac{3 \times (8{,}31 \times 10^3 \text{ J/kmol}) \times (3{,}5\text{K})}{1\text{kg}}}$$
$$= 2{,}95{,}4 \text{ m/s}$$

Tekanan udara pada tempat tersebut adalah:

$$p = \frac{1}{3}\frac{mv^2}{V}$$
$$= \frac{1}{3} \times \frac{NAr}{N_0} \times \frac{v^2}{V}$$
$$= \frac{1}{3} \times \frac{(1)(1)}{(6{,}02 \times 10^{23})} \times \frac{(295{,}4\text{m/s})^2}{(10^{-6}\text{m}^3)}$$
$$= 4{,}83 \text{ x } 10^{-17} \text{ Pa}.$$

LATIHAN SOAL 11

1. Pada proses termodinamika, pernyataan yang menunjukkan gas mengalami proses isobarik adalah jika . . .
   A. Perubahan keadaan gas yang suhunya selalu tetap
   B. Perubahan keadaan gas yang tekanannya selalu tetap
   C. Kecepatan rata-rata partikel bertambah
   D. Usaha luar gas sebanding dengan suhunya
   E. Suhu dan volume gas tidak mengalami perubahan

2. Sebuah tangki yang volumenya 50 liter mengandung 3 mol gas monoatomik. Jika energi kinetik rata-rata yang dimiliki setiap gas adalah $8{,}2 \times 10^{-21}$ J, maka besar tekanan gas dalam tangki adalah. . .
   A. $1{,}97 \times 10^5$ N/m^2
   B. $2{,}97 \times 10^5$ N/m^2
   C. $3{,}97 \times 10^5$ N/m^2
   D. $4{,}97 \times 10^5$ N/m^2
   E. $5{,}97 \times 10^5$ N/m^2

3. Tekanan gas dalam suatu tabung tertutup menurun menjadi 64% dari semula. Penurunan kelajuan molekul gas sebesar . . .
   A. 5%
   B. 10%
   C. 15%
   D. 20%
   E. 25%

4. Jika suhu gas ideal dalam ruang tertutup dinaikkan menjadi 4 kali suhu semula, maka kecepatan gerak paertikelnya menjadi . . .

A. ¼ kali semula
B. ½ kali semula
C. 2 kali semula
D. 4 kali semula
E. 16 kali semula

5. 20 mmol gas berada dalam tangki yang volumenya 100 liter. Jika suhunya 77 °C dan g = 9,8 m/s^2, maka besar tekanan gas tersebut adalah . . .
A. 5581,98 N/m^2
B. 4581,98 N/m^2
C. 3581,98 N/m^2
D. 2581,98 N/m^2
E. 581,98 N/m^2

6. Lima molekul gas dipilih secara acak dengan kecepatan masing-masing adalah 500 m/s, 600 m/s, 700 m/s, 800 m/s, dan 900 m/s. Berapakah kecepatan efektif molekul gas . . .
A. 714,14 m/s
B. 800,54 m/s
C. 300,33 m/s
D. 456,65 m/s
E. 290,76 m/s

7. Faktor yang mempengaruhi energi kinetik gas dalam ruang tertutup adalah:
(1) Tekanan
(2) Volume
(3) Suhu
(4) Jenis zat
Pernyataan yang benar adalah . . .
A. (1) dan (2)
B. (1) dan (3)
C. (1) dan (4)
D. (2) saja
E. (3) saja

8. Sejumlah gas ideal berada di dalam ruangan tertutup, mula-mula bersuhu 27°C. Supaya tekanannya menjadi 4 kali semula, maka suhu ruangan tersebut adalah . . .
A. 108°C
B. 297°C
C. 300°C
D. 927°C
E. 1.200°C

9. Suhu gas ideal dalam tabung dirumuskan sebagai $E_k = \frac{3}{2}kT$, dimana T menyatakan suhu mutlak dan E_K = energi kinetik rata-rata molekul gas. Berdasarkan persamaan di atas . . .

A. Semakin tinggi suhu gas, energi kinetiknya semakin kecil
B. Semakin tinggi suhu gas, gerak partikel gas semakin lambat
C. Semakin tinggi suhu gas, gerak partikel gas semakin cepat
D. Suhu gas berbanding terbalik dengan kinetik gas
E. Suhu gas tidak mempengaruhi gerak partikel gas

10. Dalam suatu ruangan terdapat 800 miligram gas dengan tekanan 1 atm. Kelajuan rata-rata partikel tersebut adalah 750 m/s. Jika 1 atm = 10^5 N/m^2, maka volume ruangan tersebut adalah. . .
    A. $1{,}5 \times 10^{-3}$ m^3
    B. $2{,}0 \times 10^{-3}$ m^3
    C. $6{,}7 \times 10^{-3}$ m^3
    D. $1{,}5 \times 10^{-2}$ m^3
    E. $6{,}7 \times 10^{-2}$ m^3

11. Massa sebuah molekul nitrogen adalah empat belas kali massa sebuah molekul hidrogen. Dengan demikian molekul-molekul nitrogen pada suhu 294 K mempunyai laju rata-rata yang sama dengan molekul hdrogen pada suhu . . .
    A. 10,5 K
    B. 42 K
    C. 21 K
    D. 4.116 K
    E. 2.058 K

12. Gas He (M_r= 4g/mol) pada suhu 27°C, memiliki volume 1 liter dan massa 8 gram. Energi dalam pada gas tersebut adalah . . .
    A. 7000,479 J
    B. 700,479 J
    C. 70,479 J
    D. 74,79 J
    E. 7,479 J

13. Jika kecepatan partikel gas menjadi dua kali kecepatan semula, tentukan besar tekanan yang dihasilkan adalah . . .
    A. ¼ kali dari semula
    B. ½ kali dari semula
    C. sama
    D. 2 kali dari semula
    E. 4 kali dari semula

14. Sebuah tabung yang volumenya 1 liter mempunyai lubang yang memungkinkan udara keluar dari tabung. Mula-mula suhu udara dalam tabung 27°C. Tabung dipanaskan hingga suhunya 127°C. Perbandingan antara massa gas yang keluar dari tabung dan massa awalnya adalah . . .

A. $\frac{3}{2}$

B. $\frac{3}{4}$

C. $\frac{4}{3}$

D. $\frac{1}{4}$

E. $\frac{1}{3}$

15. Gas ideal menerima kalor sebesar 15 J. Jika usaha luar yang dilakukan oleh gas tersebut sebesar 10 J dan 1 kalori = 4,20 J, maka besar perubahan energi dalam gas ideal tersebut adalah . . .

A. 5,00 kal

B. 2,50 kal

C. 1,20 kal

D. 0,20 kal

E. 0,10 kal

16. Sebuah tabung gas dengan volume tertentu berisi gas ideal dengan tekanan p. Akar nilai rata-rata kuadrat laju molekul gas disebut v_{rms}. Jika ke dalam tabung itu dipompakan gas sejenis, sehingga tekanannya menjadi 2p sedangkan suhunya dibuat tetap, maka v_{rms} menjadi . . .

A. $\frac{1}{2}v_{rms}$

B. v_{rms}

C. $\sqrt{2v_{rms}}$

D. $2v_{rms}$

E. $4v_{rms}$

17. Setiap molekul dari suatu gas poliatomik pada suhu 1200 K memiliki derajat kebebasan masing-masing tiga untuk gerak translasi, tiga untuk gerak rotasi, dan empat untuk gerak vibrasi. Energi dalam 5 mol gas ideal ini adalah . . ..

A. 10 830 J

B. 17.830 J

C. 249.830 J

D. 455.830 J

E. 567.830 J

18. Sebuah ruang tertutup berisi gas ideal dengan suhu *T* dan kecepatan partikel gas di dalamnya v, Jika suhu gas itu dinaikkan menjadi 2*T* maka kecepatan partikel gas tersebut menjadi . . .

A. $\sqrt{2}v$

B. $\frac{1}{2}v$

C. 2 v

D. 4 v

E. v^2

19. Perhartikan faktor-faktor yang dialami gas ideal berikut!
    (1) Terjadi perubahan energi dalam volume tetap
    (2) Volume tetap
    (3) Suhu tetap
    (4) Tidak melakukan usaha
    Yang terjadi pada proses isotermik adalah . . .
    A. (1) saja
    B. (2) saja
    C. (3) saja
    D. (1) dan (3)
    E. (2) dan (4)

20. Dalam sebuah bejana dengan volume 1 m^3 berisi 10 mol gas monoatomik dengan energi kinetik partikel rata-rata $1,5 \times 10^{-20}$ J. Tekanan gas dalam bejana adalah . . .
    A. $6,02 \times 10^4$ N/m^2
    B. $12,04 \times 10^4$ N/m^2
    C. $18,06 \times 10^4$ N/m^2
    D. $24,08 \times 10^4$ N/m^2
    E. $33,12 \times 10^4$ N/m^2

21. Suatu gas monoatomik A bersuhu 27°C dengan massa tiap partikel $\frac{1}{2}$ kali massa partikel B. Agar kedua macam partikel mempunyai laju yang sama, maka suhu partikel B adalah . . .
    A. 27°C
    B. 127°C
    C. 227°C
    D. 327°C
    E. 427°C

22. Gas ideal dalam suatu ruangan mengalami proses adiabatik. Pada proses ini . . .
    A. Dibutuhkan kalor untuk usaha luar
    B. Dibutuhkan kalor untuk tambahan energi dalam
    C. Tekanan gas ideal bertambah
    D. Suhu gas ideal naik
    E. Suhu gas ideal turun

23. Sebuah silinder berisi gas ideal dengan suhu 27°C. Jika tetapan Boltzman k = $1,38 \times 10^{-23}$ J/K dan tetapan umum gas R = 8,31 J/mol K, maka energi kinetik translasi setiap molekul gas adalah . . .

A. $99{,}25 \times 10^{-21}$ J
B. $6{,}71 \times 10^{-21}$ J
C. $6{,}21 \times 10^{-21}$ J
D. $5{,}22 \times 10^{-21}$ J
E. $3{,}25 \times 10^{-21}$ J

24. Suatu gas ideal sebanyak 4 liter memiliki tekanan 1,5 atmosfer dan suhu 27 °C. Tekanan gas ideal tersebut pada suhu 47°C dan volumenya 3,2 liter adalah . . .
A. 0,5 atm
B. 1 atm
C. 2 atm
D. 3 atm
E. 4 atm

25. Sebanyak 16 gram gas Oksigen (A_R = 16) menempati ruang tertutup dengan volume 5 liter pada tekanan 2 atmosfer. Jika R = 0,0821 liter atm/mol K, maka temperatur gas Oksigen tersebut adalah . . .
A. 60,4 K
B. 84,5 K
C. 243,6 K
D. 306,8 K
E. 1.223 K

26. Sebuah tabung yang volumenya 1 liter mempunyai lubang yang memungkinkan udara keluar dari tabung. Mula-mula suhu udara dalam tabung 27°C. Tabung dipanaskan hingga suhunya 127°C. Perbandingan antara massa gas keluar dari tabung dan massa awalnya adalah . . .
A. 1 ; 2
B. 1 : 4
C. 27 : 127
D. 1 : 27
E. 1 : 127

27. Sejumlah gas ideal menjalani proses isobarik sehingga suhu kelvinnya menjadi 2 kali semula, maka volumenya menjadi n kali semula, dengan n adalah . . .
A. 4
B. 3
C. 2
D. ½
E. ¼

28. Gas dalam ruang tertutup bersuhu 42°C dan tekanan 7 atm serta volumenya 8 liter. Apabila gas dipanasi samapai 87°C, tekanan naik sebesar 1 atm, maka volume gas . . .

A. berkurang 10%
B. tetap
C. berkurang 20%
D. Bertambah 20%
E. bertambah 12%

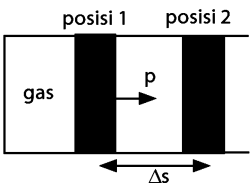
29. Jika suhu gas ideal dalam ruang tertutup dinaikkan menjadi 4 kali suhu semula, maka kecepatan gerak partikel-partikelnya menjadi . . .
A. ¼ kali semula
B. ½ kali semula
C. 2 kali semula
D. 4 kali semula
E. 16 kali semula

30. Dalam ruangan yang bervolume 1,5 liter terdapat gas yang bertekanan 10^5 Pa. Jika partikel gas memiliki kelajuan rata-rata 750 m/s, maka massa gas tersebut adalah . . .
A. 600 gram
B. 6 gram
C. 3,2 gram
D. 0,8 gram
E. 0,4 gram

Fisika (bahasa Yunani: fysikós, "alamiah" atau fýsis, "alam") adalah ilmu tentang alam dalam makna yang terluas.

TERMODINAMIKA 12

A. USAHA DAN PROSES DALAM TERMODINAMIKA



Termodinamika adalah cabang ilmu Fisika yang membahas tentang hubungan antara panas (kalor) dan usaha yang dilakukan oleh kalor tersebut.

Usaha yang dilakukan oleh gas dinyatakan dengan persamaan:

$$W = p\,A\,\Delta s$$
$$= p\,\Delta V$$
$$= p\,(V_2 - V_1)$$

dengan,

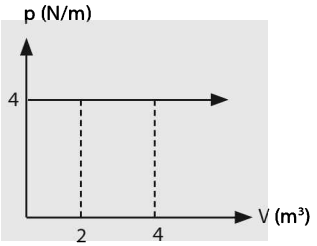
W = usaha luar yang dilakukan oleh gas (J)
ΔV = perubahan volume gas
V_1 = volume gas mula-mula (m^3)
V_2 = volume gas akhir (m^3)
p = tekanan gas (N/m^2)

Ketentuan:

$W > 0$ (positif) $\rightarrow$ gas (sistem) melakukan usaha
$W < 0$ (negatif $\rightarrow$ gas (sistem) menerima usaha dari lingkungan

a. Usaha pada Tekanan Tetap (Isoharik)

Proses yang berlangsung pada tekanan tetap disebut ***proses isobarik***. Bila volume gas bertambah, berarti gas melakukan usaha (proses ekspansi), sedangkan bila volume gas berkurang berarti pada gas dilakukan usaha (proses kompresi).



Usaha yang dilakukan oleh gas pada proses isobarik dinyatakan sebagai berikut.

$$W = p\,\Delta V = p\,(V_2 - V_1)$$

W = Usaha luar yang dilakukan (J)
P = Tekanan Gas (N/m^2)

h. Usaha pada Suhu Tetap (Isotermal)

Proses termodinamika pada suhu konstan disebut ***proses isotermal***. Usaha yang dilakukan gas pada proses isotermal dinyatakan sebagai berikut.

$$W = nRT\,\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

W = Usaha luar yang dilakukan oleh Gas (joule atau J)
n = Jumlah partikel
V_1 = Volume gas mula-mula (m^3)
V_2 = Volume gas akhir (m^3)
R = Konstanta Gas umum
T = Temperatur

c. Usaha pada Volume Tetap (Isokhorik)

Proses isokhorik adalah proses perubahan keadaan gas pada volume tetap ($\Delta V = 0$). Menurut hukum Gay-Lussac, proses isokhorik pada gas dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \text{ atau } \frac{p}{T} = \text{konstan}$$

Karena perubahan volume pada proses ini $\Delta V = 0$, maka usahanya nol.

d. Usaha pada Proses Adiahatik

Proses adiabatik adalah proses perubahan keadaan sistem tanpa adanya pertukaran kalor dengan lingkungannya, atau tidak ada kalor yang dilepas maupun yang diterima oleh gas, sehingga $Q = 0$.

Proses adiabatik mengikuti persamaan Poisson, yaitu:

$$p_1 V_1^{\gamma} = p_2 V_2^{\gamma} \text{ atau } T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$$

dengan, $\gamma = \frac{c_p}{c_V}$ = konstanta Laplace.

B. HUKUM I TERMODINAMIKA

Hukum I termodinamika disebut juga hukum kekekalan energi yang menyatakan bahwa: *"Jika sejumlah kalor Q diberikan pada sistem, kalor digunakan sebagian oleh sistem untuk melakukan usaha W, dan selisih energi Q – W sama dengan perubahan energi dalam ΔU dari sistem".*

$$\Delta U = U_2 - U_1 = Q - W \text{ atau } Q = \Delta U + W$$

dengan ketentuan sebagai berikut.

- W bertanda (+) jika sistem melakukan usaha
- W bertanda (–) jika sistem menerima usaha
- Q bertanda (+) jika sistem menerima kalor
- Q bertanda (–) jika sistem melepas kalor
- ΔU bertanda (+) jika sistem memperoleh tambahan energi dalam /mengalami kenaikan suhu
- ΔU bertanda (–) jika sistem mengalami penurunan energi dalam /mengalami penurunan suhu

a. Penerapan Hukum I Termodinamika pada Proses Isoharik

Pada proses isobarik, sistem tidak mengalami perubahan tekanan (Δp = 0). Penerapan hukum I termodinamika pada proses ini dinyatakan sebagai berikut.

$$Q = \Delta U + p\,\Delta V$$
$$Q = (U_2 - U_1) + p\,(V_2 - V_1)$$

h. Penerapan Hukum I Termodinamika pada Proses Isotermal

Proses isotermal adalah proses yang tidak mengalami perubahan suhu (ΔT = 0), sehingga perubahan energi dalamnya nol (ΔU = 0). Hukum I termodinamikan pada proses ini dinyatakan:

$$Q = W = nRT \ \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

c. Penerapan Hukum I Termodinamika pada Proses Isokhorik

Proses isokhorik adalah proses yang dialami oleh sistem tanpa adanya perubahan volume (ΔV = 0), sehingga usaha oleh sistem gas adalah W = p ΔV = 0.

Penerapan hukum I termodinamika pada proses ini dinyatakan sebagai berikut.

$Q = \Delta U = \frac{3}{2} nR \Delta T.$

d. Penerapan Hukum I Termodinamika pada Proses Adiahatik

Pada proses adiabatik, tidak terjadi pertukaran kalor dari sistem ke lingkungannya (Q = 0).
Penerapan hukum I termodinamika pada proses ini dinyatakan sebagai berikut.

$Q = \Delta U + W \rightarrow Q = 0$
$W = -\Delta U = \frac{3}{2} nR(T_1 - T_2)$

Persamaan di atas berarti usaha luar yang dilakukan sistem akan mengurangi energi dalam sistem.

C. KAPASITAS KALOR GAS IDEAL

Jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu disebut ***kapasitas kalor*** atau dinyatakan dalam simbol C.

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

dengan,
C = kapasitas kalor gas (J/K)
Q = jumlah kalor yang diserap gas (J)
ΔT = perubahan suhu gas (K)

Kapasitas kalor untuk gas dibedakan menjadi dua macam, yaitu:
• kapasitas kalor pada volume tetap (C_v), yang dinyatakan:

$$C_v = \frac{Q_v}{\Delta T} = \frac{3}{2} nR$$

• kapasitas kalor pada tekanan tetap (C_p), yang dinyatakan:

$$C_p = \frac{Q_p}{\Delta T} = \frac{5}{2}nR$$

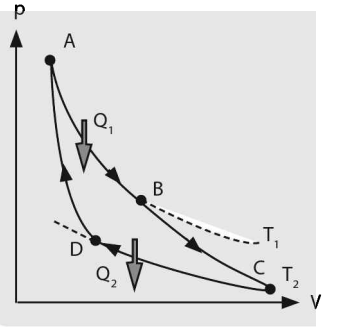
D. HUKUM II TERMODINAMIKA

Hukum II termodinamika menyatakan bahwa *"tidak mungkin ada suatu sistem yang dapat mengubah seluruh kalor yang diterima menjadi usaha"*. Pernyataan ini menunjukkan bahwa efisiensi sistem tidak pernah mencapai 100%.

a. Siklus Carnot dan Efisiensi Mesin

Siklus adalah suatu rangkaian proses berkelanjutan yang pada akhirnya kembali ke keadaan semula.

Siklus Carnot adalah siklus reversibel yang terdiri atas dua proses isotermal dan proses adiabatik, seperti ditunjukkan gambar di samping.



Menurut kurva hubungan p–V dari siklus Carnot, usaha yang dilakukan oleh gas adalah luas daerah dalam kurva p–V siklus tersebut. Secara matematis dinyatakan:

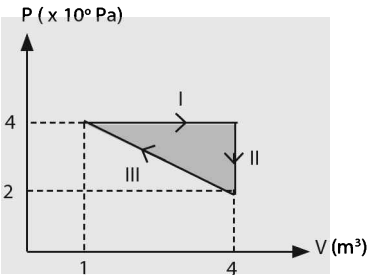
$$W_{siklus} = \Delta Q_{siklus} \rightarrow (\Delta U = 0)$$
$$W_{siklus} = Q_1 - Q_2$$

dengan,

Q_1 = kalor yang diserap sistem

Q_2 = kalor yang dilepaskan oleh sistem

Besar usaha yang dilakukan gas pada tekanan tidak tetap adalah sebanding dengan luas daerah di bawah kurva (luas daerah yang diarsir).



Perhatikan gambar sebagai contoh kasus!

- Proses I $\rightarrow$ proses ke arah kanan $\rightarrow$ $V_2 > V_1$, maka W bernilai positif.
- Proses II $\rightarrow W_{II} = 0 \rightarrow \Delta V = 0$.
- Proses III $\rightarrow$ Proses ke arah kiri $\rightarrow V_2 < V_1$, maka W bernilai negatif.

Usaha total siklus tersebut adalah:

$W = W_I + W_{II} + W_{II}$

$W = (4 \times 10^5) \times (3) + 0 - \frac{1}{2}((4 + 2) \times 10^5) \times 3$

$W = 12 \times 10^5 - 9 \times 10^5$

$W = 3 \times 10^5$.

Jadi, usaha yang dihasilkan siklus tersebut sebesar 3×10^5 J.

Perbandingan antara besar usaha yang dilakukan sistem (W) terhadap energi kalor yang diserap (Q_1) disebut ***efisiensi mesin*** (η).

$$\eta = \frac{W}{Q_1} \times 100\% = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \times 100\% = \left(1 - \frac{Q_2}{Q_1}\right) \times 100\%$$

η = efisiensi mesin (%)
W = Usaha yang dilakukan sistem (J)
Q_1 = Energi kalor yang diserap sistem (J)
Q_2 = Energi kalor yang dilepaskan sistem (J)

Pada mesin Carnot, besarnya kalor yang diserap oleh sistem (Q_1) sama dengan temperatur reservoir suhu tingginya (T_1), dan besarnya kalor yang dilepaskan sistem (Q_2) sama dengan temperatur reservoir suhu rendah (T_2) mesin tersebut, efisiensi mesin dapat juga dinyatakan:

$$\eta = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \times 100\%$$

η = efisiensi mesin (%)
T_1 = temperatur pada reservoir suhu tinggi (K)
T_2 = temperatur pada sreservoir suhu rendah (K)

h. Entropi

Entropi adalah besaran yang menyatakan banyaknya energi atau kalor yang tidak dapat diubah menjadi usaha. Jika suatu sistem menyerap sejumlah kalor Q dari reservoir yang memiliki temperatur mutlak, entropi sistem tersebut akan meningkat dan entropi reservoirnya akan menurun sehingga perubahan entropi sistem dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

Ketentuan:

- Untuk proses reversibel, perubahan total entropi, $\Delta S = 0$ untuk sistem atau lingkungan.
- Untuk proses irreversibel, berlaku: $\Delta S_{sistem} + \Delta S_{lingkungan} = \Delta S_{seluruhnya} \geq 0$.

c. Mesin Pendingin Carnot

Mesin pendingin ini bekerja dengan menerima usaha dari luar untuk memindahkan kalor pada reservoir bersuhu rendah menuju reservoir bersuhu tinggi. Berdasarkan hukum kedua termodinamika, kalor yang dilepaskan ke suhu tinggi sama dengan kerja yang ditambah kalor yang diserap. Secara matematis dapat ditulis dalam persamaan berikut.

$$Q_1 = Q_2 + W$$

Hasil bagi antara kalor yang masuk (Q_1) dengan usaha yang diperlukan (W) disebut ***koefisien daya guna (performansi)***, yang dinyatakan sebagai berikut.

$$K_p = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$

Jika gas yang digunakan dalam sistem mesin pendingin adalah gas ideal, persamaannya menjadi:

$$K_p = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

CONTOH SOAL DAN PEMBAHASAN

1. Suatu gas volumenya 0,5 m^3 perlahan-lahan dipanasakan pada tekanan tetap sehingga volumenya menjadi 2 m^3. Jika usaha luar gas tersebut 3×10^5 J, maka tekanan gas adalah . . .

   A. 6×10^5 N/m^2
   B. 2×10^5 N/m^2
   C. $1{,}5 \times 10^5$ N/m^2
   D. 6×10^4 N/m^2
   E. 3×10^4 N/m^2

   Jawaban: B

   - volume gas mula-mula, $V_1 = 0{,}5\ m^3$
   - volume gas setelah proses, $V_2 = 2\ m^3$
   - usaha gas terhadap lingkungan, $W = 3 \times 10^5$ J

   Proses termodinamik berlangsung pada tekanan tetap (isobarik), maka tekanan gas dapat ditentukan sebagai berikut.

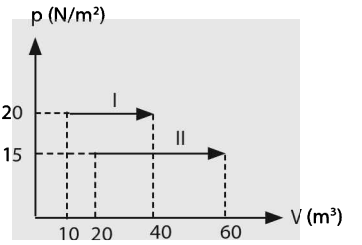
   $W = p\,\Delta V$

   $$p = \frac{W}{V_2 - V_1} = \frac{3 \times 10^5\ J}{(2 - 0{,}5)\ m^3}$$

   $$= \frac{3 \times 10^5\ Nm}{1{,}5\ m^3}$$

   $$= 2 \times 10^5\ N/m^2.$$

2. Perhatikan grafik berikut!



Dari grafik p–V di atas, besar usaha gas pada proses I dan II berbanding sebagai . . .

A. 4 : 3
B. 3 : 4
C. 2 : 3
D. 1 : 2
E. 1 : 1

Jawaban: E

Dari grafik, diperoleh:

- Proses I: $p_1 = 20\ N/m^2$; $V_{11} = 10\ m^3$; dan $V_{21} = 40\ m^3$
- Proses II: $p_2 = 15\ N/m^2$; $V_{12} = 20\ m^3$; dan $V_{22} = 60\ m^3$

Perbandingan usaha pada proses I dan II adalah:

$$\begin{aligned} W_1 : W_2 &= p_1 \Delta V_I : p_2 \Delta V_{II} \\ &= p_1 (V_{21} - V_{11}) : p_2 (V_{12} - V_{22}) \\ &= (20\ N/m^2)(40\ m^3 - 10\ m^3) : (15\ N/m^2)(60\ m^3 - 20\ m^3) \\ &= (20\ N/m^2)(30\ m^3) : (15\ N/m^2)(40\ m^3) \\ &= 600\ J : 600\ J \\ &= 1 : 1. \end{aligned}$$

3. Kerja yang dibutuhkan untuk menekan 160 gram oksigen secara isotermis pada suhu 27°C hingga volumenya menjadi 0,1 volume awal adalah . . . (BM oksigen = 32 ; ln 0,1 = –2,3 ; dan R = 8,31 J/mol K)

A. 11.217 J
B. 12.464 J
C. 28.669 J
D. 57.339 J
E. 59.317 J

Jawaban: C

- massa oksigen, m = 160 gr
- suhu gas selama proses, T = 27°C = (27 + 273)K = 300 K (tetap)
- volume gas setelah proses, $V_2 = 0{,}1\ V_1$

Kerja luar yang dibutuhkan oleh sistem pada proses isotermis adalah:

$$W = n\,R\,T\,\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

$$= \frac{m}{BM}\,R\,T\,\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

$$= \left(\frac{160\ g}{32}\right) \times (8{,}32\ J/mol\ K) \times (300\ K) \times \ln\left(\frac{0{,}1V_1}{V_1}\right)$$

= (5 mol) × (8,31 J/mol K) × (300K) × ln (0,1)

= −28.669 J → tanda negatif berarti sistem menerima kerja luar.

Jadi, kerja yang dibutuhkan untuk menekan gas oksigen pada suhu tetap sebesar 28.669 J.

4. Suatu gas volumenya 5×10^{-2} m^3 dinaikkan pada tekanan tetap sehingga menjadi 4 kali semula. Jika usaha luar yang dilakukan gas sebesar 3×10^4 J, maka tekanan gas adalah . . .

A. $1{,}5 \times 10^5$ N/m^2
B. $2{,}0 \times 10^5$ N/m^2
C. $3{,}0 \times 10^5$ N/m^2
D. $4{,}0 \times 10^5$ N/m^2
E. $5{,}0 \times 10^5$ N/m^2

Jawaban: B

- volume gas mula-mula, $V_1 = 5 \times 10^{-2}$ m^3
- volume gas setelah proses, $V_2 = 4 \times V_1 = 20 \times 10^{-2}$ m^3
- usaha luar yang dilakukan gas, $W = 3 \times 10^4$ J

Proses berlangsung pada tekanan tetap (isobarik), maka tekana gas dapat ditentukan sebagai berikut.

$$W = p\,\Delta V$$

$$p = \frac{W}{V_2 - V_1} = \frac{3\times10^4\ J}{(20-5)\times10^{-2}\ m^3}$$

$$= \frac{3\times10^4\ Nm}{15\times10^{-2}\ m^3}$$

$$= 2{,}0 \times 10^5\ N/m^2.$$

5. Sebuah gas ideal dinaikkan suhunya secara isokhorik, dari 30°C menjadi 60°C. Jika tekanan gas mula-mula sebesar 10 Pa, maka usaha yang dilakukan gas tersebut . . .

A. 2×10^2 J
B. 1×10^2 J
C. $1{,}5 \times 10$ J
D. 1×10 J
E. 0 J

Jawaban: E

- suhu gas mula-mula, $T_1 = 30°C$
- suhu gas setelah proses isokhorik, $T_2 = 60°C$
- tekanan gas = 10 Pa

Usaha yang dilakukan gas pada proses isokhorik (V tetap) adalah:
$W = p\,\Delta V \rightarrow V$ tetap $\rightarrow \Delta V = 0$
$W = 0$

6. Sebuah silinder mesin diesel berisi udara dengan volume 90 cm^3, pada suhu 27°C dan tekanan 1 atm. Udara tersebut dimampatkan secara adiabatik sehingga volumenya menjadi 15 cm^3. Jika udara dianggap mengikuti sifat gas ideal dengan $\gamma = 1{,}4$ dan 1 atm = 1×10^5 N/m^2, suhu akhir udara adalah . . .

A. 150 K
B. 300 K
C. 600 K
D. 450 K
E. 750 K

Jawaban: E

- volume udara dalam silinder mula-mula, $V_1 = 90\ cm^3 = 90 \times 10^{-6}\ m^3$
- suhu gas mula-mula, $T_1 = 27°C = (27 + 273)K = 300K$
- tekanan gas mula-mula, $p_1 = 1\ atm = 1 \times 10^5\ N/m^2$
- volume gas setelah proses adiabatik, $V_2 = 15\ cm^3 = 15 \times 10^{-6}\ m^3$
- konstanta $\gamma = 1{,}4$

Proses berlangsung adiabatik, maka berlaku:

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$$

$$T_2 = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} T_1$$
$$= \left(\frac{90}{15}\right)^{1,4-1} \times (300\,K)$$
$$= (6)^{0,4} \times (300\,K)$$
$$= 750\,K$$

7. Suatu sistem mengalami proses adiabatik, pada sistem dilakukan usaha 100 J. Jika perubahan energi dalam sistem adalah ΔU dan kalor yang diserap sistem adalah Q, maka . . .

   A. $\Delta U = -100$ J
   B. $\Delta U = 10$ J
   C. $\Delta U = 100$ J
   D. $Q = 0$
   E. $\Delta U + Q = -100$ J

   Jawaban: C

   - usaha yang dilakukan pada sistem, $W = -100$ J
   - proses berlangsung secara adiabtik $\rightarrow Q = 0$

   Menurut hukum I termodinamika
   $\Delta U + W = Q$
   $\Delta U = -W$
   $\Delta U = -(-100\text{ J})$
   $\Delta U = 100$ J

8. Dua mol gas monoatomik pada suhu 27°C dan tekanan 3×10^5 Pa mengalami proses isokhorik hingga tekanannya menjadi 4×10^5 Pa. Bila tetapan gas umum 8,31 J/mol K, maka perubahan energi dalam gas adalah . . .

   A. 4.155 J
   B. 2.908 J
   C. 2.493 J
   D. 2.077 J
   E. 1.108 J

   Jawaban: C

- jumlah mol gas monoatomik, n = 2 mol
- suhu gas mula-mula, $T_1 = 27°C = (27 + 273)K = 300K$
- tekanan gas mula-mula, $p_1 = 3 \times 10^5$ Pa
- tekanan gas setelah proses, $p_2 = 4 \times 10^5$ Pa
- tetapan gas umum, R = 8,31 J/mol K

Proses berlangsung isokhorik (V tetap), maka berlaku:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

$$T_2 = \left(\frac{p_2}{p_1}\right) T_1$$

$$= \left(\frac{4 \times 10^5}{3 \times 10^5}\right)(300K)$$

$$= 400\ K$$

Berdasarkan hukum I termodinamika, maka pada proses ini berlaku:

$$\Delta U = Q_V$$

$$= C_V \Delta T$$

$$= \tfrac{3}{2}\, nR\, \Delta T$$

$$= \tfrac{3}{2}\, nR\, (T_2 - T_1)$$

$$= \tfrac{3}{2}\, (2\ mol)\ (8{,}31\ J/mol\ K)\ (400\ K - 300\ K)$$

$$= 2.493\ J.$$

10. Sebanyak 6 m^3 gas berada dalam suatu wadah dengan suhu 27°C dan tekanan 5×10^4 Pa. Volume gas itu pada keadaan standar *(STP = standard temperature and pressure)* adalah . . .

A. 1,7 m^3
B. 2,10 m^3
C. 2,25 m^3
D. 2,50 m^3
E. 2,70 m^3

Jawaban: E

- volume gas mula-mula, $V_1 = 6\ m^3$
- suhu gas mula-mula, $T_1 = 27°C = (27 + 273)K = 300K$
- tekanan gas mula-mula, $p_1 = 5 \times 10^4$ Pa

- suhu gas pada keadaan standar, $T_2 = 0°C = (0 + 273)K = 273K$
- tekanan gas pada keadaan standar, $p_2 = 1$ atm $= 1{,}01 \times 10^5$ Pa

Volume gas pada keadaan standar adalah:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_3}$$

$$V_2 = \left(\frac{p_1}{p_2}\right) \times \left(\frac{T_2}{T_1}\right) \times V_1$$

$$V_2 = \left(\frac{5 \times 10^4}{1{,}01 \times 10^5}\right)\left(\frac{273}{300}\right)(6\,m^3)$$

$$= 2{,}70\ m^3.$$

11. Mesin Carnot bekerja pada suhu reservoir tinggi 327°C. Jika efisiensi mesin 50%, maka kalor dibuang ke reservoir bersuhu . . .

A. 27°C
B. 57°C
C. 127°C
D. 164°C
E. 300°C

Jawaban: A

- suhu reservoir bersuhu tinggi dari mesin Carnot, $T_1 = 327°C = (327 + 273)K = 600K$
- efisiensi mesin Carnot, $\eta = 50\%$

Kalor yang dibuang mesin Carnot ke reservoir rendah bersuhu:

$$\eta = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \times 100\%$$

$$T_2 = (1 - \eta) \times T_1$$
$$= (1 - 0{,}5) \times (600\ K)$$
$$= 300K$$
$$= (300 - 273)°C$$
$$= 27°C.$$

12. Suatu mesin Carnot menerima 2.000 J dari reservoir panas dan melepaskan 1.750 J pada reservoir dingin. Dengan demikian efisiensi mesin itu adalah . . .

A. 6,25%
B. 10%
C. 12,5%
D. 25%
E. 87,5%

Jawaban: C

- kalor yang diserap mesin Carnot dari reservoir panas, Q_1 = 2.000J
- kalor yang dilepas/dibuang mesin Carnot ke reservoir dingin, Q_2 = 1.750 J

Efisiensi mesin tersebut adalah:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \times 100\% = \frac{2.000 - 1.750}{2.000} \times 100\%$$
$$= 12,5\%$$

13. Sebuah lemari es memiliki suhu paling rendah di dalamnya –15°C. Jika suhu ruang di luar lemari es 28°C, koefisien performansi lemari es tersebut adalah . . .

A. 5
B. 6
C. 7
D. 8
E. 9

Jawaban: A

- suhu reservoir panas/lingkungan, T_1 = 28°C = (28 + 273)K = 301K
- suhu reservoir dingin, T_2 = –15°C = (–15 + 273)K = 258K

Koefisien performansi lemari es adalah:

$$K_p = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$
$$= \frac{258}{310 - 258}$$
$$= \frac{258}{52}$$
$$= 5.$$

14. Suhu di dalam mesin pendingin –3°C dan suhu luarnya 27°C. Jika daya yang dipakai untuk mengaktifkan mesin pendingin adalah 250 watt, besarnya panas yang dikeluarkan dari ruangan setiap jamnya adalah . . .

A. 7.500 kJ
B. 8.100 kJ
C. 9.000 kJ
D. 9.600 kJ
E. 9.500 kJ

Jawaban: B

- suhu di dalam mesin pendingin (reservoir dingin), $T_2 = -3°C = (-3 + 273)K = 270K$
- suhu luar (reservoir panas), $T_1 = 27°C = (27 + 273)K = 300K$
- daya yang digunakan untuk mengaktifkan mesin pendingin, P = 250 watt
- selang waktu mesin pendingin menggunakan listrik, t = 1 jam = 3.600 sekon

Kalor (energi listrik) yang diserap mesin pendingin selama satu jam adalah:

$$Q_1 = P\,t$$
$$= (250 \text{ watt})\,(3.600 \text{ s})$$
$$= 900.000 \text{ J}$$

Besarnya panas/kalor yang dikeluarkan (Q_2) dari ruangan (reservoir rendah) adalah:

$$Q_2 = \left(\frac{T_2}{T_1}\right) \times Q_1$$
$$= \left(\frac{270}{300}\right) \text{ x } (900.000 \text{ J})$$
$$= 810.000 \text{ J}$$
$$= 810 \text{ kJ}.$$

15. Suhu lemari es memiliki koefisien performansi 6. Jika suhu ruang di luar lemari es adalah 28°C, maka suhu paling rendah di dalam lemari es yang dapat diperoleh adalah ....

A. -35°C
B. -28°C
C. -20°C
D. -15°C
E. -8°C

Jawaban: C

- suhu reservoir bersuhu tinggi/lingkungan, $T_1 = 28°C = (28 + 273)$ $K = 301K$
- koefisien performansi, $K_P = 6$

Suhu paling rendah di dalam lemari es (T_2) dapat diperoleh dari persamaan berikut.

$$K_P = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

$$K_P T_1 - K_P T_2 = T_2$$

$$T_2 (1 + K_P) = K_P T_1$$

$$T_2 = \frac{K_P}{K_P + 1} \times T_1$$

$$= \frac{6}{6+1} \times 301\ K$$

$$= 258K$$

$$= (258 - 273)°C$$

$$= -15°C.$$

LATIHAN SOAL 12

1. Pada proses termodinamika, pernyataan yang menunjukkan gas mengalami proses isobarik adalah . . .
   A. Perubahan keadaan gas yang suhunya selalu tetap
   B. Perubahan keadaan gas yang tekanannya selalu tetap
   C. Kecepatan rata-rata partikel bertambah
   D. Usaha luar gas sebanding dengan suhunya
   E. Suhu dan volume gas tidak mengalami perubahan

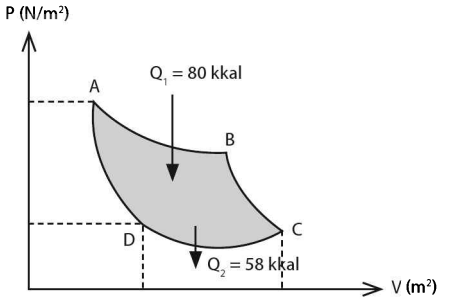
2. Perhatikan pernyataan-pernyataan berikut :
   (1) Pada proses isokhorik, gas tidak melakukan usaha
   (2) Pada proses isobarik, gas selalu mengembang
   (3) Pada proses adiabatik, gas selalu mengembang
   (4) Pada proses isotermik, energi dalam gas tetap

   Pernyataan yang sesuai konsep termodinamika adalah . . .
   A. (1) dan (2)
   B. (1), (2), dan (3)
   C. (1) dan (4)
   D. (2), (3), dan (4)
   E. (3) dan (4)

3. Satu mol gas ideal menempati suatu silinder berpengisap tanpa gesekan, mula-mula mempunyai suhu T. Gas tersebut kemudian di panaskan pada tekanan konstan sehingga volumenya menjadi 4 kali lebih besar. Bila R adalah tetapan gas universal, maka besarnya usaha yang telah dilakukan oleh gas untuk menaikkan volumenya tadi adalah . . .

A. RT/4
B. RT ln 4
C. 6RT
D. 4RT
E. 3RT

4. Perhatikan gambar berikut!



Sebuah mesin bekerja dalam suatu siklus Carnot dari suhu tinggi ke suhu rendah. Jika mesin menyerap kalor Q_1 pada suhu tinggi dan membuang kalor Q_2, maka usaha yang dihasilkan dalam satu siklus adalah . . .

A. 0,6 kkal
B. 1,4 kkal
C. 22 kkal
D. 58 kkal
E. 80 kkal

5. 1,5 m^3 gas helium yang bersuhu 27°C dipanaskan secara isobarik. Jika tekanan gas helium 2×10^5 N/m^2 dan gas helium melakukan usaha luar sebesar 60 kJ, maka sampai suhu berapakah pemanasan dilakukan . . .

A. 200 K
B. 260 K
C. 300 K
D. 360 K
E. 400 K

6. Sebanyak 1,5 m^3 gas helium yang bersuhu 27°C dipanaskan secara isobarik sampai 87°C. Jika tekanan gas helium 2×10^5 N/m^2, maka gas helium melakukan usaha luar sebesar . . .

A. 60 kJ
B. 120 kJ
C. 280 kJ
D. 480 kJ
E. 660 kJ

7. *Suatu sistem gas ideal dapat mengubah semua kalor yang diserap menjadi tambahan energi dalam*. Hal ini dapat dilakukan jika sistem tersebut berada dalam proses. . .
   A. adiabtik
   B. isobarik
   C. isokhorik
   D. isothermik
   E. pemampatan

8. Sejumlah gas ideal bertekanan P dipanasi dari 27^{0}C menjadi 54^{0}C. Jika volumenya naik menjadi dua kali, maka tekanannya menjadi . . .
   A. 0,25 P
   B. 0,55 P
   C. 0,75 P
   D. P
   E. 2P

9. Sebuah mesin kalor Carnot bekerja di antara dua reservoir bersuhu 527^{0}C dan 127^{0}C. Apabila reservoir suhu tinggi diturunkan menjadi 227^{0}C, maka efisiensi mula-mula dan akhir masing-masing adalah . . .
   A. 30% dan 20%
   B. 40% dan 20%
   C. 50% dan 20%
   D. 50% dan 30%
   E. 60% dan 40%

10. Gas ideal monoatomik sebanyak 1 kmol pada tekanan konstan 1 atm (1 atm = 1×10^5 N/m^2) dipanaskan dari 27°C ke 127°C. Perubahan energi dalam gas akibat pemanasan tersebut mendekati . . .
    A. $2{,}9 \times 10^6$ J
    B. $2{,}08 \times 10^6$ J
    C. $1{,}25 \times 10^6$ J
    D. $0{,}83 \times 10^6$ J
    E. $0{,}42 \times 10^6$ J

11. Jika sebuah sistem mengalami perubahan volume dari V menjadi ½ V pada tekanan tetap p, maka . . .
    A. sistem ini telah melakukan kerja sebesar ½ pV
    B. sistem ini telah melakukan kerja sebesar 2 pV
    C. sistem ini telah melakukan kerja
    D. pada sistem ini telah dilakukan kerja sebesar 2 pV
    E. pada sistem ini telah dilakukan kerja sebesar ½ pV

12. Suatu sistem mengalami proses adiabatik. Pada sistem dilakukan usaha 100 J. Jika perubahan energi dalam sistem adalah ΔU dan kalor yang diserap sistem adalah Q maka . . .

A. $\Delta U = -1.000J$
B. $\Delta U = 100$ J
C. $\Delta U = 10$ J
D. $Q = 0$
E. $\Delta U + Q = -10J$

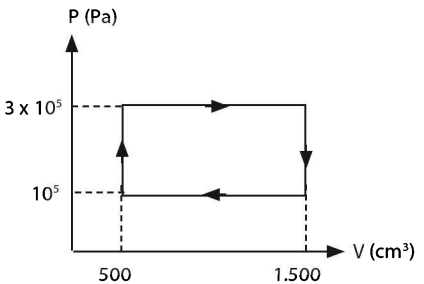
13. Suatu gas ideal mula-mula menempati ruang yang volumenya V, pada suhu T, dan tekanan P. Jika suhu gas menjadi 2T dan tekanan $\frac{3}{2}$ P, volume gas menjadi . . .

A. $\frac{3}{4}$ V
B. $\frac{4}{3}$ V
C. $\frac{3}{2}$ V
D. 2V
E. 3 V

14. Empat liter gas Ne dengan suhu 200 K dan tekanan 2 atm mengalami proses perubahan keadaan secara isobarik sehingga mencapai suhu akhir 600 K. Usaha yang dilakukan gas itu secara proses sebesar . . .

A. 8 liter atm
B. 12 liter atm
C. 16 liter atm
D. 20 liter atm
E. 24 liter atm

15. Suatu mesin kalor yang bekerja dengan siklus yang dibangun dari dua isobar dan dua isokhor seperti ditunjukkan gambar berikut:

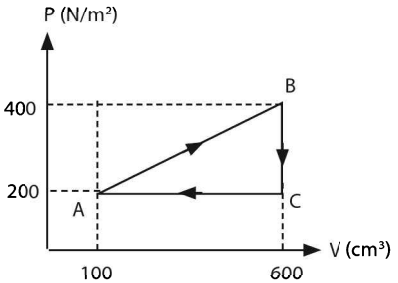


Mesin kalor tersebut digunakan untuk menggerakkan sebuah sebuah generator yang tegangan keluarannya 200 V. Jika generator mendapat beban arus 5 A, maka mesin kalor tersebut dijalankan

pada putaran per menit sebesar . . .

A. 100 rpm
B. 200 rpm
C. 300 rpm
D. 400 rpm
E. 500 rpm

16. Grafik P-V berikut ini menunjukkan proses pemanasan suatu gas ideal.



Besar usaha yang dilakukan siklus *ABCA* adalah . . .

A. 50 kJ
B. 500 kJ
C. 200 kJ
D. 500 kJ
E. 600 kJ

17. Sejumlah gas ideal menjalani proses isobarik sehingga suhu Kelvinnya menjadi dua kali semula, maka volumenya menjadi *n* kali semula dimana nilai *n* adalah . . .

A. 4
B. 3
C. 2
D. ½
E. ¼

18. Suatu gas volumenya 0,5 m^3 perlahan-lahan dipanaskan pada tekanan tetap sehingga volumenya menjadi 2 m^2. Jika usaha luar gas tersebut 3×10^5 J, maka tekanan gas tersebut adalah . . .

A. 6×10^5 N/m^2
B. 2×10^5 N/m^2
C. $1{,}5 \times 10^5$ N/m^2
D. 6×10^4 N/m^2
E. 3×10^4 N/m^2

19. Sebuah gas ideal dinaikkan suhunya secara isokhorik dari 30°C menjadi 60°C. Jika tekanan gas tersebut mula-mula sebesar 10 Pa,

maka usaha yang dilakukan gas tersebut . . .

A. 2×10^2 J
B. 1×10^2 J
C. 2×10^1 J
D. 1×10^1 J
E. nol

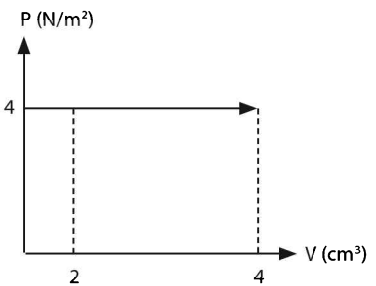
20. Jika BM Oksigen = 32, ln 0,1 = 2,3, dan R = 8,31 J/mol K, maka kerja yang dibutuhkan untuk menekan 160 gram Oksigen secara isotermis pada suhu 27°C hingga volumenya menjadi 0,1 volume awal adalah . . .

A. 11.217 J
B. 12.464 J
C. 28.669 J
D. 57.339 J
E. 59.317 J

21. Gas ideal menerima kalor sebesar 15 J. Jika usaha luar yang dilakukan oleh gas tersebut sebesar 10 J dan 1 kalori = 4,20 J, maka besar perubahan energi dalam gas ideal tersebut adalah . . .

A. 5,00 kal
B. 2,50 kal
C. 1,20 kal
D. 0,20 kal
E. 0,10 kal

22. Perhatikan gambar berikut!



Besarnya usaha *W* yang ditunjukkan dalam proses isobarik berdasarkan diagram *P-V* di atas adalah . . .

A. 2 J
B. 4 J
C. 6 J
D. 8 J
E. 10 J

23. Dua mol gas monoatomik pada suhu 27°C dan tekanan 3×10^5 Pa

mengalami proses isokhorik hingga tekanannya menjadi 4×10^5 Pa. Jika tetapan gas umum 8,31 J/mol, maka perubahan energi dalam gas adalah . . .

A. 4.155 J
B. 2.908 J
C. 2.493 J
D. 2.077 J
E. 1.108 J

24. Sebuah mesin Carnot menggunakan reservoir suhu tinggi yang bersuhu 800 K dan mempunyai efisiensi sebesar 40%. Jika efisiennya naik menjadi 50%, suhu reservoir suhu tinggi dinaikkan menjadi . . .

A. 900 K
B. 960 K
C. 1.000 K
D. 1.180 K
E. 1.600 K

25. Sebuah mesin Carnot beroperasi dengan suhu rendah ½ T Kelvin dan dengan suhu tinggi T Kelvin. Efisiensi mesin Carnot tersebut adalah . . .

A. 25%
B. 33%
C. 50%
D. 66%
E. 75%

26. Mesin Carnot dioperasikan antara 2 reservoir kalor masing-masing suhunya T_1 dan T_2, dengan $T_2 > T_1$. Efisiensi mesin tersebut 40% dan besarnya $T_1 = 27°C$. Supaya efisiensi naik 60%, maka besarnya perubahan T_2 adalah . . .

A. 250 K
B. 300 K
C. 350 K
D. 400 K
E. 500 K

27. Suatu mesin Carnot menerima 2.000 J dari reservoir panas dan melepaskan 1.750 J pada reservoir dingin. Efisiensi mesin itu adalah. . .

A. 6,25%
B. 10%
C. 12,5%
D. 25%
E. 87,5%

28. Suatu mesin menerima 200 kalori dari reservoir bersuhu tinggi

dan melepaskan 175 kalori ke sebuah reservoir lain yang suhunya rendah. Efisiensi mesin itu adalah . . .

A. 12,5%
B. 14,3%
C. 25,0%
D. 87,5%
E. 100%

29. Gas dalam ruang tertutup bersuhu 42°C dan tekanan 7 atm serta volumenya 8 liter. Jika gas dipanasi sampai 87°C dan tekanan naik sebesar 1 atm, maka volume gas . . .

A. berkurang 10%
B. tetap
C. berkurang 20%
D. Bertambah 20%
E. bertambah 12%

30. Sebuah mesin Carnot yang menggunakan reservoir suhu tinggi 800 K mempunyai efisiensi 20%. Untuk menaikkan efisiensi menjadi 36%, maka suhu reservoir kalor suhu tinggi dinaikkan menjadi . . .

A. 928 K
B. 1.000 K
C. 1.160 K
D. 1.200 K
E. 1.380 K

Fisika (bahasa Yunani: fysikós, "alamiah" atau fýsis, "alam") adalah ilmu tentang alam dalam makna yang terluas.

ELEKTROSTATIKA 13

A. MUATAN LISTRIK

Muatan listrik terdiri dari elektron (bermuatan negatif) dan proton (bermuatan positif). Muatan listrik suatu benda ditentukan oleh jumlah proton dan elektronnya dan umumnya merupakan kelipatan bilangan bulat dari muatan elektron yaitu $1{,}6 \times 10^{-19}$.

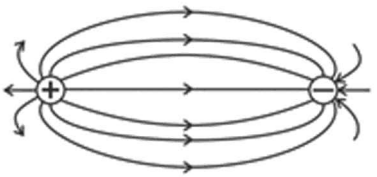
B. HUKUM COULOMB

Besarnya gaya tarik-menarik atau tolak-menolak antara dua benda bermuatan listrik, berbanding lurus dengan muatan masing-masing benda dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua benda tersebut.

$$F = k\frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

dengan,
F = gaya Coulomb (newton atau N)
q_1 = muatan listrik pertama (coulomb atau C)
q_2 = muatan listrik kedua (coulomb atau C)
r = jarak kedua muatan (m)
k = konstanta elektrostatik $(1/4\pi\varepsilon_0) = 9 \times 10^9$ N m^2/C^2

C. MEDAN LISTRIK



Medan listrik adalah ruangan di sekitar muatan listrik yang masih dipengaruhi oleh gaya listrik. Medan listrik digambarkan dengan garis gaya listrik yang arahnya menjauhi muatan positif dan mendekati muatan negatif. Garis gaya listrik tidak mungkin berpotongan, sebab garis gaya listrik adalah garis khayal yang berawal dari muatan negatif ke muatan negatif.

Secara matematis kuat medan listrik dapat dirumuskan:

$$E = \frac{F}{q_0} = k\frac{q}{r^2}$$

dengan,
E = kuat medan listrik (N/C)
q_o = muatan uji (C)
q = muatan sumber (C)
r = jarak kedua benda bermuatan (m)
k = konstanta elektrostatis (2×10^9 Nm^2/C^2)

Kuat medan listrik dari beberapa sumber muatan dapat dirumuskan:

$$E = k\left(\frac{q_1}{r_1^2} + \frac{q_2}{r_2^2}\right)$$

dengan,
q_1 = sumber muatan pertama (C)
q_2 = sumber muatan kedua (C)
r_1 = jarak muatan uji dengan sumber muatan pertama (m)
r_2 = jarak muatan uji dengan sumber muatan kedua (m)

a. Hukum Gauss

Hukum Gauss menyatakan: "*Jumlah garis gaya dari suatu medan listrik yang menembus suatu permukaan tertutup sebanding dengan jumlah muatan listrik yang dilingkupi oleh permukaan tertutup tersebut*". Secara matematis dirumuskan:

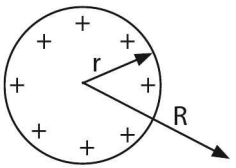
$$\phi = E \cdot A \cdot \cos\theta = \frac{q}{\varepsilon_0}$$

dengan,

ϕ = fluks listrik (Wb)
E = kuat medan listrik (N/C)
A = luas bidang yang ditembus oleh medan listrik (m^2)
θ = sudut antara medan listrik dengan garis normal bidang
q = muatan yang dilingkupi permukaan tertutup (C)
ε_0 = permitivitas udara

b. Kuat Medan Listrik pada Bola Konduktor Bermuatan

Pada bola konduktor berjari-jari r yang diberi muatan listrik, maka muatan listrik akan tersebar merata pada permukaan bola.



Kuat medan listrik untuk R < r maka E = 0

Kuat medan listrik untuk R = r maka $E = k\frac{q}{r^2}$

Kuat medan listrik untuk R > r maka $E = k\frac{q}{R^2}$

Rapat muatan adalah besarnya muatan per luas permukaan bola, sehingga rapat muatan pada bola konduktor bermuatan q dan berjari-jari dapat dirumuskan :

$$\tau = \frac{q}{4\pi r^2}$$

dengan,

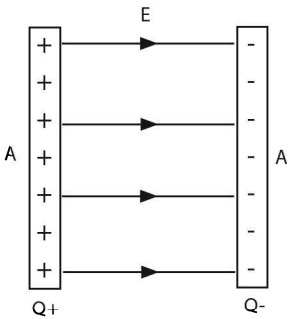
τ = rapat muatan (C/m^2)

r = jari-jari bola (m)

q = muatan listrik pada bola konduktor (C)

c. Kuat Medan Listrik pada Konduktor Bua Keping Sejajar

Pada dua keping sejajar yang mempunyai muatan listrik sama, tetapi berlawanan jenisnya, maka antara kedua keping tersebut terdapat medan listrik homogen.



$$\tau = \frac{q}{A}$$

$$E = \frac{\tau}{\varepsilon_0}$$ (Besar medan listrik pada medium udara)

$$E = \frac{\tau}{k\varepsilon_0}$$ (Besar medan listrik untuk medium bukan udara

$$= \frac{q}{k\varepsilon_0 A}$$

dengan,

τ = rapat muatan (C/m^2)

q = muatan listrik (Coulomb)

A = luas keping

ε_0 = permitivitas udara

k = konstanta $\left(\frac{1}{4\pi \cdot \varepsilon_0}\right) = 9 \times 10^9\ Nm^2/C^2$

D. POTENSIAL LISTRIK DAN ENERGI POTENSIAL LISTRIK

a. Potensial Listrik

Sebuah titik bermuatan yang berada di dalam medan listrik maka akan mempunyai potensial listrik. Besarnya potensial listrik dapat dirumuskan:

$$V = k \cdot \frac{q}{r}$$

Apabila terdapat beberapa muatan titik, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$V = k \cdot \sum \frac{q}{r}$$

dengan,

V = potensial listrik (volt atau V)

k = konstanta elektrostatik = $9 \times 10^9\ Nm^2/C^2$

q = muatan listrik (coulomb)

r = jarak titik muatan (m)

b. Energi Potensial Listrik

Akibat adanya potensial listrik maka sebuah muatan akan memiliki energi potensial Ep yang dirumuskan seperti berikut ini:

$$E_P = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r}$$

dengan,
E_P = energi potensial listrik (joule atau J)
q_1 = muatan listrik pertama (coulomb)
q_2 = muatan listrik kedua (coulomb)
k = konstanta elektrostatik = 9×10^9 Nm²/C²
r_{12} = jarak kedua titik muatan (m)

Usaha W yang diperlukan untuk memindahkan muatan q adalah:

$$W_{12} = Ep_2 - Ep_1$$
$$= q\,(V_2 - V_1)$$

dengan,
W = usaha (joule)
V_1 = Potensial listrik di titik 1 (V)
V_2 = Potensial listrik di titik 2 (V)
Ep_2 = Energi potensial listrik di titik 2 (J)
Ep_1 = Energi potensial listrik di titik 1 (J)
q = Muatan listrik

E. KAPASITOR

a. Kapasitansi (Kapasitas Kapasitor)

Kapasitas kapasitor adalah kemampuan kapasitor untuk menyimpan muatan listrik. Secara matematis dapat dirumuskan:

$$C = \frac{q}{V}$$

dengan,
C = kapasitas kapasitor (farad)
q = muatan listrik yang disimpan (C)
V = beda potensial listrik (V)

b Kapasitas Kapasitor untuk Keping Sejajar

Dua keping sejajar yang luasnya sama dan diberi muatan dapat menyimpan muatan listrik. Secara matematis dapat dirumuskan:

$$C = \varepsilon_0 \frac{A}{d}$$

dengan,

C = kapasitansi keping sejajar (Farad)
ε_0 = permitivitas ruang hampa = $8{,}85 \times 10^{-12}$ C^2/Nm^2
A = luas penampang (m^2)
d = jarak antarkeping (m)

c. Kapasitas Kapasitor Bentuk Bola

Bola konduktor akan mempunyai kapasitansi bila diberi muatan. Secara matematis dapat dirumuskan:

$$C = \frac{r}{k}$$
$$= 4\pi\varepsilon_0 \cdot r$$

dengan,

C = kapasitansi bola konduktor (farad)
r = jari-jari bola (m)
ε_0 = permitivitas ruang hampa = 8,85 x 10^{-12} C^2/Nm^2

d. Susunan Kapasitor

1. *Susunan Seri*

   Pada kapasitor yang dirangkai seri berlaku ketentuan sebagai berikut:

   – Muatan pada tiap-tiap kapasitor adalah sama dengan muatan pada kapasitor pengganti.

   $q_S = q_1 = q_2 = q_3$

– Jumlah beda potensial sama dengan beda potensial pada ujung-ujung kapasitor pengganti.

$$V_S = V_1 + V_2 + V_3$$

– Kapasitas kapasitor pengganti (C_s) adalah:

$$\frac{1}{C_S} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

2. *Susunan Paralel*
Pada kapasitor yang dirangkai paralel berlaku ketentuan sebagai berikut:
– Muatan kapasitor sama dengan jumlah muatan masing-masing kapasitor.

$$q_P = q_1 + q_2 + q_3$$

– Beda potensial masing-masing kapasitor sama dengan beda potensial sumber.

$$V_p = V_1 = V_2 = V_3$$

– Kapasitas kapasitor pengganti adalah:

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3$$

3. *Energi dalam Kapasitor*
Pada kapasitor keping sejajar, usaha untuk memindahkan muatan listrik dari keping satu ke keping lainnya disimpan dalam bentuk energi. Secara matematis dapat dirumuskan:

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{2} \cdot \frac{q^2}{C} \\ &= \frac{1}{2} \cdot q \cdot V \\ &= \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2 \end{aligned}$$

Dengan,

W = usaha (joule)

q = muatan listrik (C)

C = Kapasitansi (farad)

V = beda potensial (volt)

CONTOH SOAL DAN PEMBAHASAN

1. Terdapat tiga buah titik bermuatan masing-masing 2q, Q, dan 3q, dan terletak pada sumbu-x masing-masing 0, 0,5 l, dan l. Agar gaya Coulomb pada Q sama dengan nol, maka Q harus sama dengan . . . ($k = 9 \times 10^9\ Nm^2/C^2$)

   A. $-\frac{1}{2}q$

   B. $-\frac{1}{3}q$

   C. $-\frac{1}{4}q$

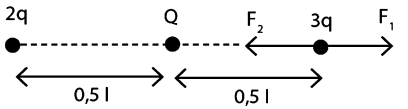
   D. $\frac{1}{2}q$

   E. $\frac{1}{4}q$

   Jawaban: A

   - Muatan listrik titik pertama, $q_1 = 2q$
   - Muatan listrik titik kedua, $q_2 = Q$
   - Muatan listrik titik ketiga, $q_3 = 3q$

   Besarnya muatan Q agar gaya Coulomb pada Q sama dengan nol adalah:



   Muatan Q terletak di antara 2q dan 3q (F_1 ke kanan)

$$F_1 = k\frac{2q \cdot 3q}{l^2}$$

$$= k\frac{6q^2}{l^2}$$

Muatan Q terletak antara Q dan 3q (F_2 ke kiri, maka Q harus negatif)

$$F_2 = k\frac{-Q\cdot 3q}{(0{,}5l)^2}$$

$$= k\frac{-Q\cdot 3q}{0{,}25l^2}$$

$$= -4k\frac{Q\cdot 3q}{l^2}$$

$$F_1 = F_2$$

$$k\frac{6q^2}{l^2} = -4k\frac{Q\cdot 3q}{l^2}$$

$$6q^2 = -12Q\cdot q$$

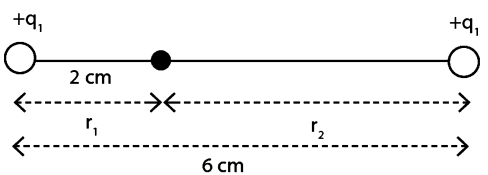
$$q^2 = -2Q\cdot q$$

$$Q = -\frac{1}{2}q$$

2. Dua benda bermuatan listrik masing-masing $+q_1$ dan $+q_2$ berjarak 6 cm satu sama lain. Jika kuat medan listrik di suatu titik yang berjarak 2 cm dari $+q_1$ sama dengan nol, maka perbandingan antara $+q_1$ dan $+q_2$ adalah . . .

A. 1 : 2
B. 1 : 3
C. 1 : 4
D. 1 : 6
E. 2 : 3

Jawaban: C



Dua buah muatan $+q_1$ dan $+q_2$
Jarak dua muatan, r = 6 cm = 6 x 10^{-2} m
Jarak titik dari $+q_1$ = 2 cm = 2 x 10^{-2} m

Perbandingan muatan titik $+q_1$ dan $+q_2$ adalah:

$E_1 = E_2$

$r_2 = 6 - 2$

$= 4 \text{ cm} = 4 \times 10^{-2} \text{ m}$

$$k\frac{+q_1}{r_1^2} = k\frac{+q_2}{r_2^2}$$

$$\frac{+q_1}{r_1^2} = \frac{+q_2}{r_2^2}$$

$+q_1 \cdot r_2^2 = +q_2 \cdot r_1^2$

$+q_1 \cdot 4^2 = +q_2 \cdot 2^2$

$+q_1 \cdot 16 = +q_2 \cdot 4$

$4+q_1 = +q_2$

$$\frac{+q_1}{+q_2} = \frac{1}{4}$$

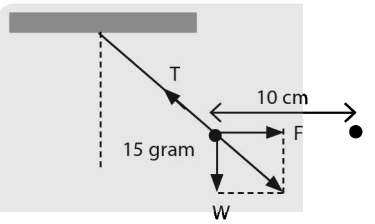
Maka perbandingan $+q_1$ dan $+q_2$ adalah: 1 : 4

3. Sebuah benda bermassa 15 gram dan bermuatan 0,4 μ F digantung pada tali yang massanya diabaikan. Pada sebelah kanan benda pada jarak 10 cm diletakkan benda bermuatan –0,3 μ F, sehingga menyebabkan benda tertarik, berapakah tegangan tali tersebut . . . ($k = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$, $g = 10 \text{m/s}^2$)

A. 7,4 N
B. 9,2 N
C. 10,8 N
D. 11,3 N
E. 12 N

Jawaban: C

Perhatikan gambar berikut:



- Massa benda yang digantung, $m = 15 \text{ gram} = 15 \times 10^{-3} \text{ kg}$
- Muatan benda yang digantung, $q_1 = 0{,}4 \ \mu F$
- Muatan benda yang didekatkan, $q_2 = -0{,}3 \ \mu F$
- Jarak kedua benda, $r = 10 \text{ cm} = 10 \times 10^{-3} \text{ m}$
- Konstanta, $k = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$
- Gravitasi, $g = 10 \text{m/s}^2$

Gaya Coulomb yang bekerja adalah:

$$F = k\frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

$$= 9\times10^9 \text{Nm}^2/\text{C}^2 \frac{0{,}4\times10^{-6}\text{C} \cdot 0{,}3\times10^{-6}\text{C}}{(10^{-2}\text{m})^2}$$

$$= 9\times10^9 \text{Nm}^2/\text{C}^2 \frac{0{,}12\times10^{-12}\text{C}^2}{10^{-4}\text{m}^2}$$

$$= 9\times10^9 \text{Nm}^2/\text{C}^2 \cdot 0{,}12\times10^{-8}\text{C}^2/\text{m}^2$$

$$= 10{,}8 \text{ N}$$

Berat benda yang digantung adalah:

$$W = m \cdot g$$

$$= 15 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2$$

$$= 15 \times 10^{-2} \text{ N}$$

Tegangan tali adalah resultan dari gaya Coulomb dan gaya berat:

$$T = \sqrt{F^2 + W^2}$$

$$= \sqrt{(10{,}8\text{N})^2 + (0{,}15\text{N})^2}$$

$$= \sqrt{116{,}64\text{N}^2 + 0{,}0225\text{N}^2}$$

$$= \sqrt{116{,}7\text{N}^2}$$

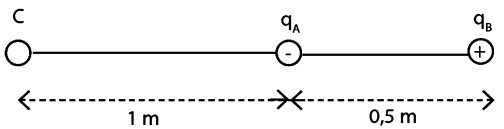
$$= 10{,}8 \text{ N}$$

4. Dua titik A dan B berjarak 0,5 m satu dengan yang lain, masing-masing bermuatan listrik:
$q_A = -4 \times 10^{-8}$ C
$q_B = 9 \times 10^{-8}$ C
Titik C terletak 1 m di kiri A dan segaris dengan A dan B, maka kuat medan magnet listrik di C adalah . . . ($k = 9 \times 10^9$ Nm^2/C^2)

A. nol
B. $1{,}6 \times 10^5$ N/C
C. $3{,}6 \times 10^5$ N/C
D. $7{,}2 \times 10^5$ N/C
E. $8{,}1 \times 10^5$ N/C

Jawaban: A

Perhatikan gambar berikut:



Muatan di titik A, $q_A = -4 \times 10^{-8}$ C
Muatan di titik B, $q_B = 9 \times 10^{-8}$ C
Jarak A dan C, $r_1 = 1$ m
Jarak B dan C, $r_2 = 1{,}5$ m

Kuat medan listrik di titik C adalah:

$$E_C = E_1 + E_2$$

$$= k\frac{q_{BA}}{r_1^2} + k\frac{q_B}{r_2^2}$$

$$= k\left(\frac{q_A}{r_1^2} + \frac{q_B}{r_2^2}\right)$$

$$= 9\times10^9 \text{Nm}^2/\text{C}^2\left(\frac{-4\times10^{-8}\text{C}}{(1\text{m})^2} + \frac{9\times10^{-8}\text{C}}{(1{,}5\text{m})^2}\right)$$

$$= 9\times10^9 \text{Nm}^2/\text{C}^2\left(\frac{-4\times10^{-8}\text{C}}{1\text{m}^2} + \frac{9\times10^{-8}\text{C}}{2{,}25\text{m}^2}\right)$$

$$= 9\times10^{9}\text{Nm}^2/\text{C}^2\left(-4\times10^{-8}\text{C/m}^2 + 4\times10^{-8}\text{C/m}^2\right)$$
$$= 9\times10^{9}\cdot 0$$
$$= \text{nol}$$

5. Sebuah persegi ABCD masing-masing titik diletakkan partikel bermuatan. Pada titik A dan C bermuatan +q, supaya kuat medan listrik di titik D adalah nol, maka titik B diletakkan sebuah partikel bermuatan . . .

A. $-q$
B. q
C. $-q\sqrt{2}$
D. $q\sqrt{2}$
E. $-2q\sqrt{2}$

Jawaban: E

- Muatan listrik di titik A (q_A), E (q_E), dan C (q_C) = +q
- Medan listrik di titik D, $E_D = 0$

Muatan listrik di titik D adalah:

$BD^2 = AB^2 + AD^2 = r^2 + r^2 = 2r^2$

$$= \sqrt{E_{CD}{}^2 + E_{AD}{}^2 + 2E_{CD}\cdot E_{AD}\cos\alpha}$$
$$= \sqrt{\left(k\frac{+q_C}{r^2}\right)^2 + \left(k\frac{+q_A}{r^2}\right)^2 + 2\left(k\frac{+q_C}{r^2}\right)\left(k\frac{+q_A}{r^2}\right)\cos 90^\circ}$$
$$= \sqrt{\left(k\frac{+q_C}{r^2}\right)^2 + \left(k\frac{+q_A}{r^2}\right)^2 + 2\left(k\frac{+q_C}{r^2}\right)\left(k\frac{+q_A}{r^2}\right)0}$$
$$= \sqrt{2\left(k\frac{+q}{r^2}\right)^2 + 0}$$
$$= \sqrt{2}\left(k\frac{+q}{r^2}\right)$$

$$E_{BD} = E_2 = k\frac{+q}{BD^2}$$
$$= k\frac{+q}{2r^2}$$

$$E_1 = -E_2$$
$$\sqrt{2}\left(k\frac{+q}{r^2}\right) = -k\frac{+q}{2r^2}$$
$$Q_D = -2q\sqrt{2}$$

6. Sebuah papan logam mempunyai panjang 15 cm dan lebarnya 10 cm.Jika kuat medan listriknya 150 N/C dan searah dengan bidang, maka jumlah garis medan listrik yang menembus bidang tersebut adalah . . .

A. nol
B. 2,25 weber
C. 2,5 weber
D. 2,75 weber
E. 3 weber

Jawaban: A

Panjang papan logam, p = 15 cm = 15×10^{-2} m
Lebar papan logam, l = 10 cm = 10×10^{-2} m
Kuat medan listrik, E = 150 N/C

Luas permukaan papan logam:
$A = p \times l$
$= 15 \times 10^{-2}\ m \cdot 10 \times 10^{-2}\ m$
$= 150 \times 10^{-3}\ m^2$
Jumlah garis medan listrik yang menembus bidang adalah:
$\phi = E \cdot A \cdot \cos\theta$
$= 150\ N/C \cdot 150 \times 10^{-4}\ m^2 \cdot \cos 90°$
$= 2{,}25 \cdot 0$
= nol

7. Kuat medan listrik di pusat persegi (titik O) yang panjang rusuknya $3\sqrt{2}$ cm, jika pada titik sudut A, B, C, dan D terdapat muatan listrik masing-masing $-2\ \mu$ C, $-3\ \mu$ C, $3\ \mu$ C , dan $2\ \mu$ C adalah . . . ($k = 9 \times 10^9$ Nm^2/C^2)

A. $4\sqrt{2} \times 10^7$ N/C
B. $\sqrt{2} \times 10^7$ N/C
C. 4×10^7 N/C
D. $4\sqrt{2} \times 10^8$ N/C
E. $\sqrt{2} \times 10^8$ N/C

Jawaban: A

- Muatan listrik di titik A, $Q_A = -2\ \mu$ C
- Muatan listrik di titik B, $Q_B = -2\ \mu$ C
- Muatan listrik di titik C, $Q_C = 2\ \mu$ C
- Muatan listrik di titik D, $Q_D = 2\ \mu$ C

Panjang garis diagonal persegi adalah:

$$\begin{aligned} AC &= \sqrt{AB^2 + BC^2} \\ &= \sqrt{(3\sqrt{2}\text{cm})^2 + (3\sqrt{2}\text{cm})^2} \\ &= \sqrt{18\text{cm}^2 + 18\text{cm}^2} \\ &= \sqrt{36\text{cm}^2} \\ &= 6\ \text{cm} = 6\ \text{x}\ 10^{-2}\ \text{m} \end{aligned}$$

Kuat medan magnet O dipengaruhi titik A adalah:

$$\begin{aligned} E_{AO} &= k\frac{q_A}{r} \\ &= 9\times10^9 \text{Nm}^2/\text{C}^2 \frac{2\times10^{-6}\text{C}}{(3\times10^{-2}\text{m})^2} \\ &= 9\times10^9 \text{Nm}^2/\text{C}^2 \frac{2\times10^{-6}\text{C}}{9\times10^{-4}\text{m}^2} \\ &= 2\ \text{x}\ 10^7\ \text{N/C} \end{aligned}$$

Untuk nilai E_{BO}, E_{CO}, dan E_{DO} adalah sama karena jarak dan muatannya sama, sehingga:
$E_{AO} = E_{BO} = E_{CO} = E_{DO} = 2 \times 10^7$ N/C
Resultan kuat medan listrik ke arah OA:

$$\begin{aligned} E_1 &= E_A + E_C \\ &= 2 \times 10^7\ \text{N/C} + 2 \times 10^7\ \text{N/C} \\ &= 4 \times 10^7\ \text{N/C} \end{aligned}$$

Resultan kuat medan listrik ke arah OB:

$E_2 = E_B + E_D$

$= 2 \times 10^7$ n/C $+ 2 \times 10^7$ N/C

$= 4 \times 10^7$ N/C

Kuat medan listrik di titik O adalah:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2 \cdot E_1 \cdot E_2 \cos\theta}$$

$$= \sqrt{(4\times10^7\ \text{N/C})^2 + (4\times10^7\ \text{N/C})^2 + 2 \cdot 4\times10^7\ \text{N/C} \cdot 4\times10^7\ \text{N/C} \cdot \cos 90^\circ}$$

$$= \sqrt{16\times10^{14}\text{N}^2/\text{C}^2 + 16\times10^{14}\text{N}^2/\text{C}^2 + 32\times10^{14}\text{N}^2/\text{C}^2 \cdot 0}$$

$$= \sqrt{32\times10^{14}\text{N}^2/\text{C}^2}$$

$$= 4\sqrt{2}\times10^7\text{N/C}$$

8. Dua plat konduktor disejajarkan masing-masing luasnya 12 cm^2 dan diberikan muatan yang berlawanan jenis masing-masing $0{,}75 \times 10^{-6}$ C. Rapat muatan pada plat adalah . . .

A. $3{,}25 \times 10^{-4}$ C/m^2
B. $4{,}75 \times 10^{-4}$ C/m^2
C. $6{,}25 \times 10^{-4}$ C/m^2
D. $6{,}35 \times 10^{-4}$ C/m^2
E. $6{,}5 \times 10^{-4}$ C/m^2

Jawaban: C

- Luas kedua plat = 12 cm^2 = 12×10^{-4} m^2
- Muatan listrik kedua plat = $0{,}75 \times 10^{-6}$ C

Rapat muatan pada plat adalah:

$$\tau = \frac{q}{A}$$

$$= \frac{0{,}75\times10^{-6}}{12\times10^{-4}}$$

$$= \frac{0{,}75\times10^{-6}}{12\times10^{-4}}$$

$$= 0{,}0625 \times 10^{-2}$$

$$= 6{,}25 \times 10^{-4}\ \text{C/m}^2$$

9. Dua plat sejajar yang luasnya masing-masing 20 cm^2 dan diberi muatan berlawanan jenis sebesar $1,5 \times 10^{-6}$ C, Jika kedua plat dimasukkan ke dalam gas helium, maka kuat medan listrik yang terjadi adalah . . . ($\varepsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}\ C^2/Nm^2$, $k = 9 \times 10^9\ Nm^2/C^2$)

A. $3,4 \times 10^{-3}$ N/C
B. $4,3 \times 10^{-3}$ N/C
C. $5,2 \times 10^{-3}$ N/C
D. $7,6 \times 10^{-3}$ N/C
E. $9,4 \times 10^{-3}$ N/C

Jawaban: E

Luas kedua plat, $A = 20\ cm^2 = 20 \times 10^{-4}\ m^2$
Muatan listrik kedua plat, $E = 1,5 \times 10^{-6}$ C
Permitivitas udara, $\varepsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}\ C^2/Nm^2$
Konstanta, $k = 9 \times 10^9\ Nm^2/C^2$

Kuat medan listrik adalah:

$$E = \frac{Q}{k\varepsilon_0 A}$$

$$= \frac{1,5 \times 10^{-6} C}{9 \times 10^9 Nm^2/C^2 \cdot 8,85 \times 10^{-12} C^2/Nm^2 \cdot 20 \times 10^{-4} m^2}$$

$$= \frac{1,5 \times 10^{-6}}{1,6 \times 10^{-4}} N/C$$

$$= 9,4 \times 10^{-3}\ N/C$$

10. Dua plat konduktor disejajarkan masing-masing luasnya 12 cm^2, dan mempunyai rapat muatan $6,25 \times 10^{-4}\ C/m^2$. Kuat medan listrik yang terjadi adalah . . .($\varepsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}\ C^2/Nm^2$)

A. $0,7 \times 10^9$ N/C
B. 7×10^9 N/C
C. $7,1 \times 10^9$ N/C
D. $0,7 \times 10^8$ N/C
E. $7,1 \times 10^8$ N/C

Jawaban: D

- Luas kedua plat, $A = 12\ cm^2 = 12 \times 10^{-4}\ m^2$
- Rapat muatan pada plat, $\tau = 6,25 \times 10^{-4}\ C/m^2$
- Permitivitas udara, $\varepsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}\ C^2/Nm^2$

Kuat medan listrik yang terjadi adalah:

$$E = \frac{\tau}{\varepsilon_0}$$
$$= \frac{6{,}25 \times 10^{-4} C/m^2}{8{,}85 \times 10^{-12} C^2/Nm^2}$$
$$= 0{,}7 \text{ x } 10^8 \text{ N/C}$$

11. Kapasitor-kapasitor keping sejajar yang diberi muatan dipengaruhi oleh:
(1) Konstanta dielektrik
(2) Tebal pelat
(3) Luas pelat
(4) Jarak kedua pelat

Pernyataan yang benar adalah . . .

A. (2)
B. (1) dan (2)
C. (2) dan (4)
D. (3) dan (2)
E. (1), (3), dan (4)

Jawaban: E

Rumus kapasitas kapasitor keping sejajar adalah:

$$C = \varepsilon_0 \frac{A}{d}$$

Dari rumusan tersebut dapat disimpulkan kapasitas kapasitor dipengaruhi:
- konstanta dielektrik (permitivitas ruang hampa)
- luas pelat, dan
- jarak kedua pelat.

12. Sebuah kapasitor 0,5 μF disambungkan dengan baterai 9 volt. Muatan yang tersimpan dalam kapasitor tersebut adalah . . .

A. $2{,}7 \times 10^{-6}$ C
B. $3{,}1, \times 10^{-6}$ C
C. $4{,}5 \times 10^{-6}$ C
D. 18×10^{-6} C
E. 27×10^{-6} C

Jawaban: C

Muatan yang tersimpan dalam kapasitor adalah:

$q = C \cdot V$

$= 0{,}5 \times 10^{-6}\ F \cdot 9\ V$

$= 4{,}5 \times 10^{-6}\ C$

13. Sebuah bola logam berjari-jari 6 cm diberi muatan listrik. Berapakah kapasitansi bola logam tersebut . . . ($\varepsilon_0 = 8{,}85 \times 10^{-12}\ C^2/Nm^2$, $\pi = 3{,}14$)

A. $67{,}6 \times 10^{-12}\ F$
B. $6{,}67 \times 10^{-12}\ F$
C. $6{,}67 \times 10^{-13}\ F$
D. $6{,}67 \times 10^{-14}\ F$
E. $6{,}7 \times 10^{-12}\ F$

Jawaban: B

Jari-jari logam, r = 6 cm = 0,06 m

Kapasitansi bola logam adalah:

$C = 4\pi\ \varepsilon_0 \cdot r$

$= 4 \cdot 3{,}14 \cdot 8{,}85 \times 10^{-12}\ C^2/Nm^2 \cdot 6 \times 10^{-2}\ m$

$= 6{,}67 \times 10^{-12}\ F$

14. Tiga buah kapasitor masing-masing kapasitasnya 2 μ F, 3 μ F, dan 6 μ F dipasang secara seri. Kapasitansi total dari kapasitor tersebut adalah . . .

A. 5 μ F
B. 4 μ F
C. 3 μ F
D. 2 μ F
E. 1 v F

Jawaban: E

Kapasitansi kapasitor pertama = 2 μ F
Kapasitansi kapasitor kedua = 3 μ F
Kapasitansi kapasitor ketiga = 6 μ F

Total kapasitornya adalah :

$$\frac{1}{C_S} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$= \frac{1}{2\mu F} + \frac{1}{3\mu F} + \frac{1}{6\mu F}$$

$$= \frac{3+2+1}{6}\mu F$$

$$= \frac{6}{6}\mu F$$

$$= 1\ \mu\ F$$

LATIHAN SOAL 13

1. Ada empat muatan A, B, C, D. Diketahui A menolak B, A menarik C, C menolak D, dan D bermuatan positif. Jenis muatan-muatan tersebut adalah . . .
   A. A bermuatan (–), B bermuatan (+), C bermuatan (–)
   B. A bermuatan (–), B bermuatan (–), C bermuatan (+)
   C. A bermuatan (+), B bermuatan (–), C bermuatan (–)
   D. A bermuatan (+), B bermuatan (–), C bermuatan (+)
   E. A bermuatan (–), B bermuatan (–), C bermuatan (–)

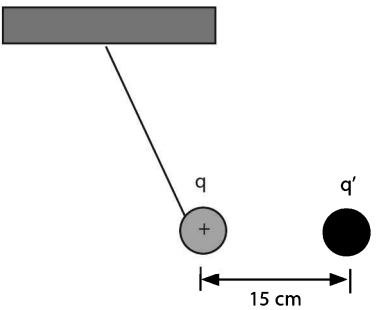
2. Dua buah muatan masing-masing 20 μC dan 24 μC terpisah pada jarak 12 cm. Jika kedua muatan diletakkan pada bahan yang memiliki permitivitas relatif sebesar 3, maka besar gaya yang bekerja pada kedua muatan adalah . . .
   A. 50 N
   B. 100 N
   C. 200 N
   D. 300 N
   E. 400 N

3. Jika sebuah partikel bermuatan 4×10^{-19} C ditempatkan dalam medan listrik homogen yang kuat medannya $1{,}2 \times 10^{5}$ N/C, maka partikel tersebut akan mengalami gaya sebesar . . .
   A. $4{,}8 \times 10^{-14}$ N
   B. $5{,}2 \times 10^{-14}$ N
   C. $3{,}0 \times 10^{-23}$ N
   D. $3{,}3 \times 10^{-24}$ N
   E. $4{,}8 \times 10^{-24}$ N

4. Dua buah partikel A dan B masing – masing bermuatan listrik + 20 μ C dan + 45 μ C, terpisah dengan jarak 15 cm. Jika C adalah titik yang terletak di antara A dan B sedemikian sehingga medan di C sama dengan 0, maka jarak C dari A adalah . . .

A. 2 cm
B. 3 cm
C. 4 cm
D. 6 cm
E. 9 cm

5. Sebuah benda bermassa 20 gram dan bermuatan q = +0,5 μC digantungkan pada seutas tali ringan yang massanya dapat diabaikan. Tepat di sebelah kanan benda pada jarak 15 cm diletakkan muatan q = −1 μC yang menyebabkan posisi benda menjauhi seperti ditunjukkan gambar berikut.



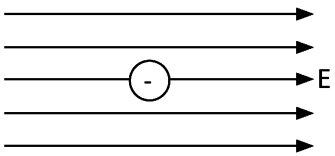
Jika $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \times 10^9\ \text{Nm}^2/\text{C}^2$ dan g = 10 m/s², maka besar tegangan pada tali . . .

A. 0,20 N
B. 0,24 N
C. 0,28 N
D. 0,32 N
E. 0,40 N

6. Sebuah muatan uji + 3,0 × 10^{-5} C diletakkan dalam suatu medan listrik. Gaya yang bekerja pada muatan uji tersebut sebesar 0,45 N pada sudut 20° terhadap sumbu x positif. Besar kuat medan listrik pada muatan uji tersebut adalah . . .

A. $1{,}0 \times 10^4$ N/C
B. $1{,}3 \times 10^4$ N/C
C. $1{,}5 \times 10^4$ N/C
D. $1{,}0 \times 10^3$ N/C
E. $1{,}5 \times 10^3$ N/C

7. Sebuah elektron berada dalam medan listrik yang homogen dengan intensitas E sebesar $1{,}0 \times 10^{-5}$ N/C seperti ditunjukkan gambar berikut.



Jika massa elektron = $9{,}1 \times 10^{-31}$ kg dan muatan elektron = $-1{,}6 \times 10^{-19}$C, maka besar dan arah percepatan yang dialami oleh elektron tersebut adalah ...

A. $1{,}75 \times 10^6$ m/s^2 ke kanan
b. $1{,}75 \times 10^6$ m/s^2 ke kiri
c. $1{,}75 \times 10^5$ m/s^2 ke kanan
D. $1{,}75 \times 10^5$ m/s^2 ke kiri
E. Semua jawaban salah

8. Terdapat persegi panjang berukuran 30 cm × 20 cm. Jika kuat medan listrik homogen sebesar 200 N/C dan arahnya membentuk sudut 30° terhadap bidang persegi panjang, maka jumlah garis medan listrik yang menembus bidang adalah ...

A. nol
b. 2 Wb
c. 3 Wb
D. 3 Wb
E. 6 Wb

9. Sebuah bola berjari-jari 20 cm mempunyai muatan 100 C. Potensial sebuah titik yang berjarak 30 cm dari permukaan bola sebesar ...

A. 3×10^{10} V
B. 3×10^{11} V
C. $1{,}8 \times 10^{10}$ V
D. $1{,}8 \times 10^{11}$ V
E. $1{,}8 \times 10^{12}$ V

10. Dua titik A dan B berjarak 0,5 m satu sama lain (A di sebelah kiri dan B di kanan) masing – masing bermuatan -4×10^{-9} C dan $+9 \times 10-9$ C. Jarak letak titik C agar kuat medannya sama dengan nol berada pada ...

A. Pertengahan AB
B. 1 m di kanan A
C. 1 m di kiri A
D. 1 m di kanan B
E. $\frac{1}{4}$ m di kiri A

11. Dua buah titik bermuatan listrik berjarak r dan saling tarik – menarik dengan gaya F. Jika muatan listrik masing – masing dijadikan 3 × semula agar besar gaya tetap F, maka jarak antara kedua muatan menjadi . . .
A. $\frac{1}{9}$ kali
B. 9 kali
C. $\frac{1}{3}$ kali
D. 3 kali
E. 6 kali

12. Dua titik muatan listrik *A* dan *B* berjarak 0,5 m satu dengan yang lain:
$q_A = -4 \times 10^{-6}$ C
$q_B = +9 \times 10^{-6}$ C
Titik C terletak 1 m di kiri A dan segaris dengan A dan B, maka kuat medan listrik di C adalah . . . ($k = 9 \times 10^9$ Nm^2 C^{-2})
A. nol
B. $1{,}6 \times 10^5$ N/C
C. $3{,}6 \times 10^5$ N/C
D. $7{,}2 \times 10^5$ N/C
E. $8{,}1 \times 10^5$ N/C

13. Sebuah bola bermuatan listrik yang besarnya 40 μC. Kuat medan listrik pada jarak 60 cm dari muatan tersebut adalah . . . ($k = 9 \times 10^9$ Nm^2 C^{-2})
A. $1{,}0 \times 10^5$ N/C
B. $2{,}2 \times 10^5$ N/C
C. $1{,}0 \times 10^6$ N/C
D. $6{,}0 \times 10^6$ N/C
E. $6{,}0 \times 10^9$ N/C

14. Pada titik – titik sudut *B* dan *D* sebuah persegi *ABCD* masing – masing diletakkan sebuah partikel bermuatan +q. Agar kuat medan listrik di *A* nol, maka di titik *C* harus diletakkan sebuah partikel bermuatan sebesar . . .
A. −q
B. +q
C. $-q\sqrt{2}$
D. $q\sqrt{2}$
E. $-2q\sqrt{2}$

15. Dua benda bermuatan listrik masing – masing $+q_1$ dan $+q_2$ berjarak 6 cm satu sama lain. Jika kuat medan listrik di suatu titik yang berjarak 2 cm dari $+q_1$ sama dengan nol, maka perbandingan antara $+q_1$ dan $+q_2$ adalah . . .
    A. 1 : 2
    B. 1 : 3
    C. 1 : 4
    D. 1 : 6
    E. 2 : 3

16. Sebuah elektron bergerak dengan kecepatan yang tegak lurus pada arah kuat medan listrik E dan akan mengalami gaya yang arahnya adalah . . .
    A. Searah dengan kuat medan listrik
    B. Berlawanan arah dengan kuat medan listrik E
    C. Searah dengan kecepatan V
    D. Berlawanan arah dengan kecepatan V
    E. Tegak lurus pada E maupun V

17. Dua partikel masing – masing bermuatan q_1 dan q_2 yang tidak di ketahui besar dan jenisnya terpisah sejauh d. Antara kedua muatan itu dan pada garis hubungannya terdapat titik p dengan jarak $^2/_3$ d dari q . Jika kawat medan di titik P sama dengan nol, maka . . .
    A. q_1 dan q_2 adalah muatan – muatan yang tidak sejenis
    B. Potensial di titik P yang disebabkan oleh q_1 dan q_2 sama
    C. Potensial di titik P sama dengan nol
    D. Besar muatan q_1 = 2 kali besar muatan q_2
    E. Besar muatan q_1 = 4 kali besar muatan q_2

18. Sebuah elektron berada dalam listrik yang homogen dengan kuat medan sebesar 10^{-5} N/C. Jika massa elektron $9{,}1 \times 10^{-31}$ kg dan besar muatan elektron $-1{,}6 \times 10^{-19}$ C, maka besar percepatan yang dialami oleh elektron tersebut adalah . . .
    A. $2{,}00 \times 10^6$ m/s^2
    B. $1{,}85 \times 10^6$ m/s^2
    C. $1{,}75 \times 10^6$ m/s^2
    D. $1{,}50 \times 10^6$ m/s^2
    E. $1{,}25 \times 10^6$ m/s^2

19. Dua muatan listrik $q_1 = +2\,\mu C$ dan $q_2 = 1{,}2\,\mu C$ berjarak 40 cm. Potensial listrik pada titik di tengah – tengah antara q_1 dan q_2 = adalah . . .
    A. $-3{,}6 \times 10^4$ V
    B. $-5{,}4 \times 10^4$ V
    C. $+3{,}6 \times 10^4$ V
    D. $+9{,}0 \times 10^4$ V
    E. $+14{,}4 \times 10^4$ V

20. Dua keping penghantar seluas 1 m^2 diletakkan sejajar satu sama lain pada jarak 20 cm. Penghantar yang satu diberi potensial +40 V dan penghantar yang lain −40 V. Besarnya gaya yang dialami sebuah muatan $q = 2 \times 10^{-2}$ C yang berada di antara kedua bidang tersebut adalah . . .
    A. 0 N
    B. 2 N
    C. 4 N
    D. 8 N
    E. 16 N

21. Sebuah elektron dengan massa $9{,}11 \times 10^{31}$ kg dan muatan listrik $-1{,}6 \times 10^{-19}$ C, terlepas dari katoda menuju ke anoda yang jaraknya 2 cm. Jika kecepatan awal elektron 0 dan beda potensial antara anoda dan katoda 200 V, maka elektron akan sampai di anoda dengan kecepatan . . .
    A. $2{,}3 \times 10^5$ m/s
    B. $8{,}4 \times 10^6$ m/s
    C. $2{,}3 \times 10^7$ m/s
    D. 3×10^7 m/s
    E. $2{,}4 \times 10^8$ m/s

22. Pada setiap titik sudut sebuah segitiga samasisi dengan sisi $2\sqrt{3}$ terdapat muatan positif q. Kuat medan dan potensial listrik di pusat segitiga ini dengan k sebagai tetapan berturut – turut adalah . . .
    A. ½ kq dan 0
    B. ½ kq dan ³/₂ kq
    C. ²/₃ kq dan ³/₂ kq
    D. 0 dan ³/₂ kq
    E. 0 dan ²/₃ kq

23. Dua keping logam sejajar diberi muatan listrik yang sama besarnya dan berlawanan tanda. Kuat medan listrik antara keping itu akan . . .
    A. Berbanding lurus dengan rapat muatannya
    B. Berbanding terbalik dengan rapat muatannya

C. Berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua kepingnya
D. Berbanding lurus dengan jarak antara kedua keping
E. Arahnya menuju ke keping yang bermuatan positif

24. Suatu kapasitor mempunyai 10 μF di dalam kapasitor berisi udara. Jika ke dalam kapasitor dimasukkan mika yang mempunyai konstanta dielektrikum k = 5, maka kapasitasnya menjadi . . .
A. 2 μF
B. 4 μF
C. 10 μF
D. 15 μF
E. 50 μF

25. Sebuah kapasitor keping sejajar di udara mempunyai kapasitas I. Jika jarak kedua kepingnya diubah menjadi ½ kali semula dan kedua keping dicelupkan ke dalam medium dengan konstanta dielektrikum 2, maka kapasitasnya menjadi . . .
A. ¼ C
B. ½ C
C. C
D. 2C
E. 4C

26. Potensial listrik sejauh 4 cm dari suatu muatan titik *q* sama dengan 10 V. Potensial lsitrik sejauh *R* dari muatan titik 5*q* sama dengan 20 V. Nilai *R* sama dengan . . .
A. 20 cm
B. 15 cm
C. 12 cm
D. 10 cm
E. 6 cm

27. Bola logam yang diematernya 20 cm diberi muatan hingga potensial di permukaannya menjadi 200 V. Potensial di suatu titik yang jaraknya 10 cm dari permukaan sebesar . . .
A. 66,7 V
B. 100 V
C. 250 V
D. 400 V
E. 950 V

28. Setetes air berjari-jari 0,4 mm mempunyai potensial listrik 20 V pada permukaannya. Jika kecepatan delapan tetes air yang identik bergabung menjadi sebuah tetes air yang lebih besar, maka potensial listrik pada permukaan tetes air gabungan tersebut adalah . . .

A. 20 V
B. 40 V
C. 80 V
D. 100 V
E. 160 V

29. Tiga muatan yang sama terletak pada sudut-sudut sebuah segitiga samasisi. Jika gaya antara dua muatan itu *F*, maka besarnya gaya pada setiap muatan adalah . . ..

A. $F\sqrt{2}$
B. $F\sqrt{3}$
C. 2F
D. 3F
E. 4F

30. Potensial *P* sejauh *r* dari muatan *q* sama dengan i. Potensial *Q* sejauh *R* dari muatan titik 5*q* sama dengan 2*V*. Pernyataan berikut yang benar adalah . . .

A. R = 5r
B. R = r/5
C. R = r
D. R = ¼ r
E. 10R = r

Fisika (bahasa Yunani: fysikós, "alamiah" atau fýsis, "alam") adalah ilmu tentang alam dalam makna yang terluas.

ELEKTRODINAMIKA 14

A. KUAT ARUS

Kuat arus listrik adalah banyaknya muatan listrik yang mengalir melalui penghantar per satuan waktu. Secara matematis dapat dirumuskan:

$$I = \frac{q}{t}$$

dengan,
I = kuat arus (ampere atau A)
q = muatan listrik (C)
t = waktu (s)

Sedangkan kuat arus yang mengalir pada penampang kawat penghantar dapat dirumuskan:

$$I = v \cdot q_e \cdot n \cdot A$$

dengan,
v = kecepatan elektron (m/s)
q_e = muatan elektron ($-1{,}6 \times 10^{-19}$ C)
n = jumlah elektron yang mengalir per satuan volume
A = luas penampang kawat penghantar (m^2)
I = kuat arus (A)

B. HUKUM OHM

Hukum Ohm menyatakan bahwa: "*Kuat arus listrik i yang mengalir pada penghantar sebanding dengan beda potensial antara antara ujung-ujung penghantar, di mana suhu penghantar tersebut tidak berubah*". Secara matematis hukum Ohm dapat dirumuskan:

$$V = i \cdot R$$

dengan,
V = beda potensial (V)
i = kuat arus yang mengalir (A)
R = hambatan (ohm atau Ω)

C. HAMBATAN JENIS

Besar hambatan kawat penghantar tergantung pada:
1) Jenis kawat, yaitu hambatan jenis kawat (ρ)
2) Panjang kawat (ℓ)
3) Luas penampang kawat (A)

Secara matematis dapat dirumuskan:

$$R = \rho \frac{\ell}{A}$$

dengan,
R = hambatan (Ω)
ρ = hambatan jenis (Ω m)
ℓ = panjang kawat (m)
A = luas penampang kawat (m^2)

Hambatan jenis kawat tergantung pada perubahan suhu, sehingga hambatan listriknya juga mengalami perubahan yang dapat dirumuskan:

$$R = R_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

dengan,

R = hambatan pada suhu T°C (Ω)
R_0 = hambatan pada suhu awal
α = koefisien temperatur rata-rata dari resistivitas ($°C^{-1}$)
ΔT = perubahan suhu (°C)

D. RANGKAIAN HAMBATAN LISTRIK

a. Rangkaian Seri

Hambatan listrik yang dirangkai secara seri (R_s) berlaku ketentuan sebagai berikut:

– Jumlah tiap-tiap hambatan sama dengan hambatan pengganti seri.

$$R_S = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots + R_n$$

b. Rangkaian Paralel

Hambatan listrik yang dirangkai paralel (R_p) berlaku ketentuan sebagai berikut:

– Hambatan pengganti dapat dirumuskan:

$$\frac{1}{R_P} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots + \frac{1}{R_n}$$

c. Jembatan Wbeatstone

Jembatan Wheatstone menyederhanakan susunan hambatan yang tidak dapat disederhanakan secara seri atau paralel.

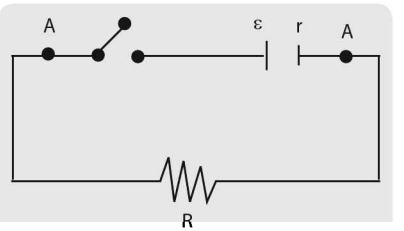
Penentuan hambatan pengganti pada jembatan wheatstone adalah sebagai berikut:

1) Jika perkalian silang R_1 dan R_3 sama dengan R_2 dan R_4 ($R_1 \times R_3 = R_2 \times R_4$), maka hambatan tengah R_5 tidak berfungsi.
2) Jika perkalian silang R_1 dan R_3 tidak sama dengan R_2 dan R_4 ($R_1 \times$

$R_3 \neq R_2 \times R_4$), maka hambatan tersebut diganti dengan hambatan baru. Hambatan R_1, R_2, dan R_5 diganti dengan R_a, $R_{b,}$ dan R_c.

E. GAYA GERAK LISTRIK (GGL)

GGL adalah beda potensial (tegangan) dari sumber tegangan sebelum mengalirkan arus, GGL digambarkan sebagai berikut:



Saat saklar disambungkan maka arus listrik akan mengalir dari sumber tegangan, dan tegangan pada rangkaian dapat dirumuskan:

$$V_{AB} = \varepsilon - I \cdot r$$

dengan,

V_{AB} = tegangam di antara kutub sumber tegangan (V)
ε = GGL sumber tegangan (V)
i = kuat arus yang mengalir (A)
r = hambatan jenis di dalam sumber tegangan (Ω)

a. Rangkaian GGL Seri

GGL pengganti pada rangkaian seri dapat dirumuskan:

$$\varepsilon_S = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \ldots + \varepsilon_n$$

Kuat arus yang mengalir dalam rangkaian dapat dirumuskan :

$$i = \frac{\varepsilon_S}{r_S + R}$$

dengan,

i = kuat arus listrik (A)
ε_S = ggl pengganti seri (V)
r_S = hambatan dalam pengganti yang disusun seri (Ω)
R = hambatan pada rangkaian (Ω)

b. Rangkaian GGL Paralel

GGL pengganti pada rangkaian paralel dapat dirumuskan:

$$\varepsilon_P = \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \varepsilon$$

Kuat arus yang mengalir dalam rangkaian dapat dirumuskan:

$$i = \frac{\varepsilon_P}{r_P + R}$$

dengan,
i = kuat arus listrik (A)
ε_P = ggl pengganti paralel (V)
r_p = hambatan dalam pengganti yang disusun seri (Ω)
R = hambatan pada rangkaian (Ω)

F. HUKUM KIRCHHOFF

a. Hukum I Kirchhoff

Hukum I Kirchhoff menyatakan bahwa: "*Jumlah kuat arus listrik yang masuk ke titik percabangan sama dengan jumlah kuat arus yang keluar dari titik percabangan tersebut*". Secara matematis dapat dirumuskan:

$$\Sigma I_{masuk} = \Sigma I_{keluar}$$ dengan, I = kuat arus listrik (A)

b. Hukum II Kirchhoff

Hukum II Kirchhoff menyatakan bahwa: "*Pada rangkaian tertutup jumlah aljabar gaya gerak listrik dengan penurunan tegangan sama dengan nol*". Secara matematis dapat dirumuskan:

$$\Sigma \varepsilon + \Sigma I \cdot R = 0$$ dengan, ε = gaya gerak listrik (V)
I = kuat arus listrik (A)
R = hambatan listrik (Ω)

1. *Rangkaian Satu Loop*
   Pada rangkaian satu loop kuat arus yang mengalir dalam rangkaian adalah sama. Pada rangkaian satu loop berlaku hukum I Kirchhoff
2. *Rangkaian Dua Loop atau Lebih*
   Langkah-langkah untuk menentukan kuat arus pada rangkaian dua loop atau lebih adalah sebagai berikut:
   a) Menyederhanakan susunan seri atau paralel resistor.
   b) Menentukan arah loop.
   c) Menuliskan persamaan tiap loop dengan hukum II Kirchhoff
   d) Menentukan kuat arus untuk titik percabangan dengan hukum II Kirchhoff.

G. ENERGI DAN DAYA LISTRIK

a. Energi Listrik

Energi listrik diperlukan untuk mengalirkan arus listrik selama selang waktu tertentu. Secara matematis dapat dirumuskan:

$$W = V \cdot i \cdot t$$

dengan,
W = energi listrik (joule)
V = tegangan listrik (V)
i = kuat arus listrik (A)
t = waktu (s)

b. Daya Listrik

Daya listrik adalah energi listrik yang dihasilkan (dilepas) setiap satuan waktu. Secara matematis dapat dirumuskan:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{V \cdot i \cdot t}{t} = V \cdot i$$

Rumus perbandingan daya listrik dan tegangan yang dipasangkan ke tegangan yang berbeda adalah:

$$P = \frac{V_2^{\,2}}{V_1^{\,2}} \cdot P_1 = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2 P_1$$

dengan,

P = daya listrik (watt)
W = energi listrik (joule)
V = tegangan listrik (V)
i = kuat arus listrik (A)
t = waktu (s)

H. ALAT UKUR LISTRIK

a. Amperemeter

Amperemeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur kuat arus listrik yang melewati rangkaian listrik dan pemakaiannya harus dipasang secara seri. Untuk memperbesar batas ukur, amperemeter ditambahkan suatu hambatan yang dinamakan dengan hambatan Shunt, secara matematis dapat dirumuskan:

$$R_{SH} = \frac{r_A}{n-1}$$

dengan,

R_{SH} = hambatan shunt (Ω)
r_A = hambatan dalam amperemter (Ω)
n = daya pembesar arus.

b. Voltmeter

Voltmeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur tegangan listrik pada rangkaian listrik. Pemakaiannya harus dipasang secara paralel. Untuk memperbesar batas ukur, voltmeter dipasang

hambatan depan yang disusun seri dengan voltmeter. Secara matematis dapat dirumuskan:

$$R_d = (n - 1)\, r_v$$

dengan,
R_d = hambatan depan (Ω)
r_v = hambatan dalam voltmeter (Ω)
n = daya pembesar tegangan

CONTOH SOAL DAN PEMBAHASAN

1. Sebuah kawat mempunyai luas penampang 0,3 mm^2 dan dialiri arus listrik 4 A selama 2 menit, kecepatan elektron tersebut adalah . . . ($q_e = -1{,}6 \times 10^{-19}$ C)

   A. $3{,}4 \times 10^5$ m/s
   B. $2{,}78 \times 10^4$ m/s
   C. $1{,}78 \times 10^3$ m/s
   D. $2{,}78 \times 10^2$ m/s
   E. $1{,}88 \times 10^2$ m/s

   Jawaban: B

   - Luas penampang kawat, A = 0,3 mm^2 = $0{,}3 \times 10^{-6}$ m^2
   - Arus listrik yang mengalir, i = 4 A
   - Waktu alir arus listrik, t = 2 menit = 120 detik

   Jumlah muatan elektron yang mengalir:

$$n = \frac{i \cdot t}{q_e}$$
$$= \frac{4\ A \cdot 120\ s}{1{,}6 \times 10^{-19} C}$$
$$= \frac{480\ A \cdot s}{1{,}6 \times 10^{-19} C}$$
$$= 3 \times 10^{21} \text{ elektron}$$

Kecepatan elektron adalah:

$$v = \frac{i}{q_e \cdot n \cdot A}$$
$$= \frac{4\,A}{1{,}6\times10^{-19}C \cdot 3\times10^{21} \cdot 0{,}3\times10^{-6}m^2}$$
$$= \frac{4}{1{,}44\times10^{-4}}$$
$$= 2{,}78 \times 10^4 \text{ m/s}$$

2. Voltmeter mempunyai hambatan 1000 Ω dan amperemeter mempunyai hambatan 0,1 Ω. Keduanya digunakan untuk mengukur suatu hambatan. Pada voltmeter terbaca 0,5 V dan pada amperemeter terbaca 2,5 mA. Nilai hambatan tersebut adalah . . .

A. 100 Ω
B. 0,25 Ω
C. 0,2 Ω
D. 250 Ω
E. 200 Ω

Jawaban: D

- Hambatan pada voltmeter, R_V = 1000 Ω
- Hambatan pada amperemeter, r = 0,1 Ω
- Voltase yang terbaca, V = 0,5 V
- Kuat arus yang terbaca, I = 2,5 mA = $2{,}5 \times 10^{-2}$ A

Besar hambatan pada rangkaian adalah:

$$R_P = \frac{V}{I} = \frac{0{,}5\,V}{2{,}5\times10^{-3}\,A} = 200\ \Omega$$

Besar hambatan pada rangkaian adalah:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_P} - \frac{1}{R_V}$$
$$= \frac{1}{200\ \Omega} - \frac{1}{1000\ \Omega} = \frac{5-1}{1000} = \frac{1000}{4}$$
$$R = 250\ \Omega$$

3. Kawat tembaga diberi tegangan 9 V dan dialiri arus listrik 0,75 A pada suhu 27°C. Kemudian kawat dipanaskan sehingga arus listrik turun menjadi 0,6 A. Berapakah suhu kawat yang dipanaskan tersebut . . . ($\alpha_{besi} = 6{,}51 \times 10^{-3}/°C$)

A. 28,3°C
B. 33,6°C
C. 39,7°C
D. 44,0°C
E. 58,5°C

Jawaban: E

- Tegangan listrik, V = 9 V
- Arus listrik awal, I_1 = 0,75 A
- Arus listrik akhir, I_2 = 0,6 A

Hambatan kawat besi pada suhu awal (20°C) adalah:

$$R_0 = \frac{V}{I_1} = \frac{9\ V}{0{,}75\ A} = 12\ \Omega$$

Hambatan kawat besi pada suhu akhir adalah:

$$R = \frac{V}{I_2} = \frac{9\ V}{0{,}6\ A} = 15\ \Omega$$

Suhu kawat akhir kawat besi adalah:

$$\Delta T = \frac{R - R_0}{R_0 \cdot \alpha}$$

$$= \frac{15\ \Omega - 12\ \Omega}{12\ \Omega \cdot 6{,}51 \times 10^{-3}/°C}$$

$$= \frac{3\ \Omega}{0{,}078\ \Omega/°C}$$

$$= 38{,}5^0 C$$

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

$$T_2 = \Delta T + T_1$$

$$= 38{,}5°C + 20°C = 58{,}5°C$$

4. Seutas kawat berdiameter 2 mm dan panjangnya 18 m, dihubungkan dengan sumber tegangan 220 V, kuat arus yang mengalir pada kawat tersebut adalah . . . ($\rho = 3{,}14 \times 10^{-6}\ \Omega$, $\pi = 3{,}14$)

A. 6,5 A
B. 7,4 A
C. 9 A
D. 10,4 A
E. 12,3 A

Jawaban: E

- Diameter kawat, $d = 2\ mm = 2 \times 10^{-3}\ m$
- Jari-jari kawat, $r = \frac{1}{2} \times 2 \times 10^{-3} = 10^{-3}\ m$

Panjang kawat, $\ell = 18\ m$
Beda potensial, $V = 220\ V$
Hambatan jenis kawat, $\rho = 3{,}14 \times 10^{-6}\ \Omega$

Luas penampang kawat adalah:

$$\begin{aligned} A &= \pi \cdot r^2 \\ &= 3{,}14 \cdot (10^{-3}\ m)^2 \\ &= 3{,}14 \cdot 10^{-6}\ m^2 \\ &= 3{,}14 \times 10^{-6}\ m^2 \end{aligned}$$

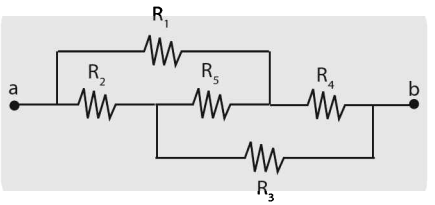
Hambatan pada kawat adalah:

$$R = \rho \frac{\ell}{A} = 3{,}14 \times 10^{-6}\ \Omega \cdot \frac{18\ m}{3{,}14 \times 10^{-6}\ m^2} = 18\ \Omega$$

Kuat arus yang mengalir pada kawat adalah:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{220\ V}{18\ \Omega} = 12{,}3\ A$$

5. Lima hambatan masing-masing besar hambatannya $R_1 = 3\ \Omega$, $R_2 = 4\ \Omega$, $R_3 = 6\ \Omega$, $R_4 = 3\ \Omega$, dan $R_5 = 7\ \Omega$ disusun seperti gambar di samping. Jika rangkaian di atas



disambungkan ke sumber tegangan 220 V, maka daya yang dihasilkan di hambatan R_5 adalah . . .

A. 4 W
B. 3 W
C. 2 W
D. 1 W
E. nol

Jawaban: E

Kelima hambatan disusun membentuk jembatan Wheatstone $R_1 . R_3 = R_2 . R_4$, sehingga pada hambatan R_5 tidak berfungsi dan daya yang dihasilkan adalah nol.

6. Arus listrik pada suatu kawat berubah sesuai dengan waktu yang dinyatakan dalam persamaan $i = 5 + 6t^2$. Berapakah arus yang membawa muatan dalam selang waktu t = 0 detik sampai t = 3 detik . . . (i = ampere dan t = detik)

A. 23 A
B. 21 A
C. 20 A
D. 25 A
E. 30 A

Jawaban: A

- Arus listrik dinyatakan ke dalam persamaan, $i = 5 + 6t^2$

Kuat arus listrik yang membawa muatan adalah:

$$i = \frac{dq}{dt} \qquad dq = i\ dt$$

$$q = \int i dt$$

$$= \int_0^3 5 + 6t^2\, dt$$

$$= 5t + 2t^3 \Big|_0^3$$

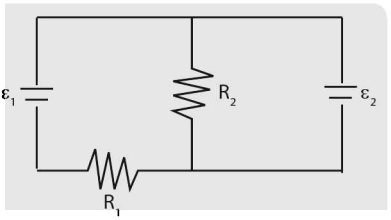
$$= (5 \cdot 3 + 2 \cdot 3^3) - 0$$

$$= 15 + 2 \cdot 27$$

$$= 69\ C$$

$$i = \frac{q}{\Delta t}$$
$$= \frac{q}{(t_2 - t_1)}$$
$$= \frac{69\,C}{(3-0)\,s}$$
$$= 23\ A$$

7. Perhatikan gambar rangkaian di bawah ini.

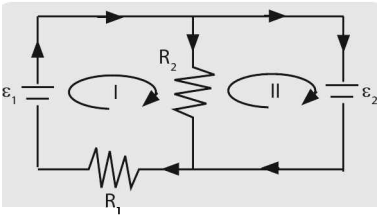


Besar hambatan $R_1 = 10\ \Omega$, dan $R_2 = 8\ \Omega$, dan besar GGL baterai $\varepsilon_1 = 14$ V dan $\varepsilon_2 = 6$ V, energi yang dikeluarkan pada hambatan R_1 selama 1 menit adalah . . .

A. 3,84 J
B. 38,4 J
C. 384 J
D. 48,5 J
E. 485 J

Jawaban : C

- Hambatan pertama, $R_1 = 10\ \Omega$
- Hambatan kedua, $R_2 = 8\ \Omega$
- GGL baterai pertama, $\varepsilon_1 = 14$ V
- GGL baterai kedua, $\varepsilon_2 = 6$ V
- Waktu, t = 1 menit = 60 s



Arus listrik pada rangkaian dapat digambarkan pada sketsa di atas.

Arus listrik pada Loop I adalah:

$$\Sigma \varepsilon + \Sigma I \cdot R = 0$$
$$-\varepsilon_1 + I \cdot R_1 + I_1 \cdot R_2 = 0$$
$$-14 + I \cdot 10 + I_1 \cdot 8 = 0$$
$$10I + 8I_1 = 14$$

Ingat: $I = I_1 + I_2$, maka:

$$10 (I_1 + I_2) + 8I_1 = 14$$
$$10I_1 + 10I_2 + 8I_1 = 14$$
$$18I_1 + 10I_2 = 14 \quad (i)$$

Arus listrik Loop II adalah:

$$\Sigma \varepsilon + \Sigma I \cdot R = 0$$
$$-\varepsilon_2 + I_1 \cdot R_2 = 0$$
$$-6 + I_1 \cdot 8 = 0$$
$$8I_1 = 6$$

$$I_1 = \frac{6}{8} = \frac{3}{4} = 0{,}75 \text{ A}$$

Maka, I_2 dapat diperoleh dari:

$$18I_1 + 10I_2 = 14$$
$$18 \cdot 0{,}75 + 10I_2 = 14$$
$$13{,}5 + 10I_2 = 14$$
$$10I_2 = 0{,}5$$

$$I_2 = \frac{0{,}5}{10} = 0{,}05 \text{ A}$$

Kuat arus listrik (I) yang mengalir pada rangakaian adalah:

$$I = I_1 + I_2 = 0{,}75 \text{ A} + 0{,}05 \text{ A} = 0{,}8 \text{ A}$$

Energi yang dikeluarkan pada hambatan R_1 selama 1 menit adalah:

$$W = I^2 \cdot R \cdot t$$
$$= (0{,}8 \text{ A})^2 \cdot 10\ \Omega \cdot 60 \text{ s}$$
$$= 0{,}64 \text{ A}^2 \cdot 600\ \Omega \text{ s}$$
$$= 384 \text{ J}$$

8. Sebuah pemanas listrik akan dipakai untuk memanaskan air sampai mendidih (100°C). Alat tersebut membutuhkan arus listrik 3 A dan tegangan 220 V. Suhu air sebelum dipanaskan adalah 27°C, berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mendidihkan 300 gram air . . . (c_{air} = 4,2 J/°gC).

A. 1280 detik
B. 1393 detik
C. 2978 detik
D. 3030 detik
E. 3129 detik

Jawaban: B

- Arus listrik yang mengalir, I = 3 A
- Tegangan listrik, V = 220 V
- Suhu awal air, T_1 = 27°C
- Suhu akhir air, T_2 = 100°C
- Massa air, m = 300 gram
- Kalor jenis air, c_{air} = 4,2 J/g°C

Kalor yang dibutuhkan untuk mendidihkan air:

$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$

$= m \cdot c \cdot (T_2 - T_1)$

$= 300\ g \cdot 4{,}2\ J/g°C \cdot (100 - 27)\ °C$

$= 1260\ J/°C \cdot 73°C$

$= 91{,}9 \times 10^4\ J$

Kalor yang diterima air adalah energi yang dikeluarkan oleh listrik, maka:

$Q = W = V \cdot I \cdot t$

Waktu yang diperlukan untuk mendidihkan air adalah:

$$t = \frac{Q}{V \cdot I}$$

$$= \frac{91{,}9 \times 10^4\ J}{220\ V \cdot 3\ A}$$

$$= \frac{91{,}9 \times 10^4}{660}$$

$$= 1393\ \text{detik}$$

9. Sebuah lampu listrik dengan spesifikasi 220 V dan 50 W dihubungkan seri dengan sebuah hambatan listrik 1000 Ω, lalu dipasang pada tegangan listrik 110 V. Ini berarti bahwa arus listrik yang mengalir dalam rangkaian itu adalah . . .

A. 56 mA
B. 84 mA
C. 112 mA
D. 224 mA
E. 548 mA

Jawaban: C

- Voltase lampu, $V_1 = 220$ V
- Daya lampu, $P_1 = 50$ W
- Hambatan listrik, $R = 1000\ \Omega$
- Voltase listrik, $V_2 = 110$ V

Daya yang digunakan lampu adalah:

$$P_2 = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 P_1$$

$$= \left(\frac{110\,V}{220\,V}\right)^2 50\,W$$

$$= \left(\frac{1}{2}\right)^2 50\,W$$

$$= \frac{1}{4} \cdot 50\,W = 12{,}5\,W$$

Arus listrik yang mengalir adalah:

$$I_2 = \sqrt{\frac{P_2}{R}}$$

$$= \sqrt{\frac{12{,}5\,W}{1000\,\Omega}}$$

$$= \sqrt{12{,}5 \times 10^3\,A^2}$$

$$= 11{,}2 \times 10^{-2}\ A$$

$$= 112 \times 10^{-3}\ A$$

$$= 112\ mA$$

10. Sebuah galvanometer yang hambatannya 50 Ω akan mengalami simpangan maksimum jika dilalui arus 0,01 A. Agar dapat digunakan untuk mengukur tegangan hingga100 V, maka harus dipasang . . .
    A. hambatan depan sebesar 9950 Ω
    B. hambatan depan sebesar 5000 Ω
    C. hambatan cabang sebesar 9950 Ω
    D. hambatan cabang sebesar 5000 Ω
    E. hambatan depan dan hambatan cabang masing-masing sebesar 2500 Ω

    Jawaban: A

    - Hambatan galvanometer, R = 50 Ω
    - Arus listrik yang terbaca, I = 0,01 A
    - Tegangan yang akan diukur, V = 100 V

    Tegangan yang dapat diukur adalah:

    $V = I \cdot R = 0{,}01\ A \cdot 50\ \Omega = 0{,}5\ V$

    Perbesaran yang akan diukur adalah:

    $$n = \frac{100\ V}{0{,}5\ V} = 200$$

    Hambatan yang perlu digunakan:

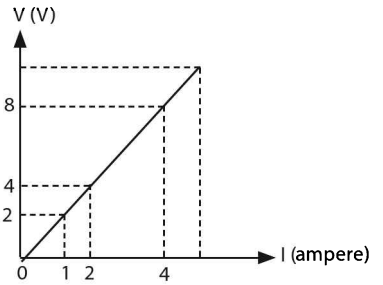
    $R_d = (n - 1)r_v$
    $= (200 - 1)50\ \Omega$
    $= 199 \cdot 50$
    $= 9950\ \Omega$

LATIHAN SOAL 14

1. Besarnya hambatan penghantar tergantung kepada hal–hal berikut ini, *kecuali* . . .
   A. Jenis penghantar
   B. Panjang penghantar
   C. Gaya tarik
   D. Suhu
   E. Tegangan

2. Suatu penghantar dengan panjang 10 m, luas penampang 2 cm, dan hambatan jenisnya 10. Maka hambatan penghantarnya adalah . . .
   A. 0,05 Ω
   B. 0,5 Ω
   C. 1,0 Ω
   D. 1,5 Ω
   E. 2,0 Ω

3. Grafik berikut menampilkan variasi beda potensial *V* terhadap kuat arus *I* pada suatu penghantar.



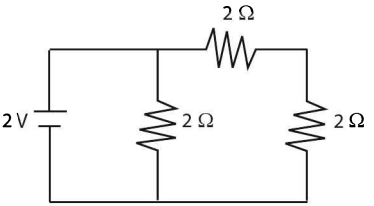
   Nilai hambatan penghantar tersebut adalah . . .

A. Nol
B. 1 ohm
C. 2 ohm
D. 4 ohm
E. 8 ohm

4. Jika lima buah hambatan masing-masing 20 ohm dipasang pararel, maka hambatan penggantinya adalah . . .
A. 3 ohm
B. 4 ohm
C. 5 ohm
D. 6 ohm
E. 7 ohm

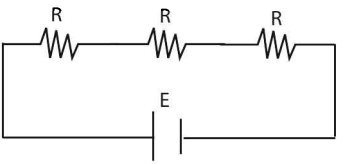
5. Tiga hambatan 12 ohm, 6 ohm, dan 4 ohm disusun pararel dan dihubungkan dengan sumber tegangan listrik. Perbandingan arus yang mengalir pada masing-masing hambatan adalah . . .
A. 2 : 3 : 1
B. 3 : 2 : 1
C. 1 : 2 : 3
D. 2 : 1 : 3
E. 1 : 3 : 2

6. Perhatikan gambar rangkaian listrik berikut !



Besar arus listrik *I* yang mengalir pada rangkaian tersebut sama dengan . . .
A. 1,0 A
B. 1,5 A
C. 2,0 A
D. 3,0 A
E. 8,0 A

7. Perhatikan gambar rangkaian listrik berikut.



Jika $R = 6$ ohm dan $E = 9$ V, maka I sebesar . . .

A. 1,5 A
B. 0,5 A
C. 4,5 A
D. 1,0 A
E. 3,0 A

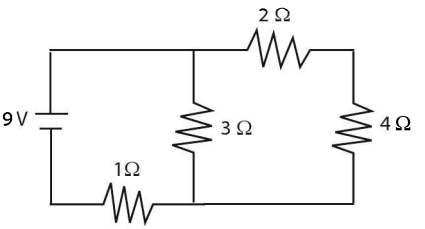
8. Jumlah muatan listrik baik muatan positif maupun negatif yang melewati suatu penampang penghantar per satuan waktu dinamakan . . .

A. Daya
B. Kuat arus
C. Tegangan
D. Gaya
E. Ampere

9. Sebuah resistor dengan hambatan R = 10 Ω dilewati oleh arus listrik sebesar 50 mA. Beda potensial antara ujung-ujung resistor tersebut adalah . . .

A. 0,005 V
B. 0,05 V
C. 0,5 V
D. 5,0 V
E. 5,5 V

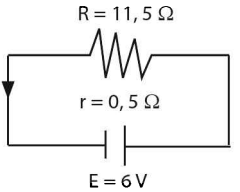
10. Perhatikan rangkaian berikut!



Beda potensial antara titik A dan B pada ganbar di bawah ini adalah . . .

A. 2,0 V
B. 2,7 V
C. 3,0 V
D. 5,0 V
E. 6,0 V

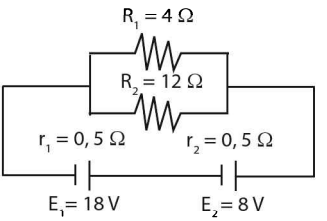
11. Perhatikan gambar berikut.



Tegangan dan kuat arus pada hambatan *R* adalah . . .

A. 6,00 V ; 12 A
B. 5,75 V ; 0,52 A
C. 5,75 V ; 0,50 A
D. 4,00 V ; 0,50 A
E. 4,00 V ; 0,52 A

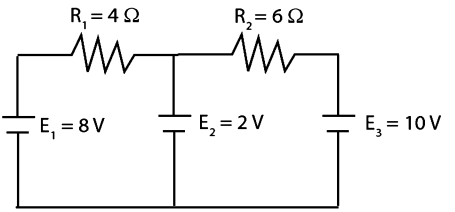
12. Perhatikan gambar berikut!



Dari gambar rangkaian arus searah ini, kuat arus induk I yang mengalir pada rangkaian b adalah . . .

A. $\frac{5}{2}$A
B. $\frac{8}{2}$A
C. $\frac{10}{3}$A
D. $\frac{13}{2}$A
E. $\frac{26}{3}$A

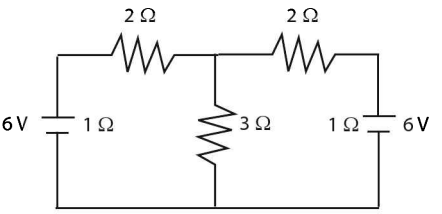
13. Suatu rangkaian listrik diketahui seperti terlihat pada gambar.



Beda potensial *V* antara titik *A* dan titik *D* sama dengan . . .

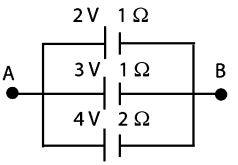
A. 18 V
B. 16 V
C. 4 V
D. 2 V
E. Nol

14. Perhatikan gambar berikut!



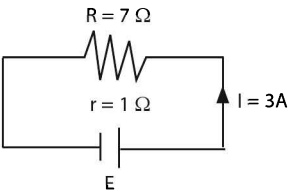
Besar kuat arus pada hambatan 3 ohm adalah . . .
A. 1,2 A
B. 1,0 A
C. 0,8 A
D. 0,4 A
E. 0,2 A

15. Tiga elemen berbeda, kutub-kutub positifnya dihubungkan ke titik A dan kutub-kutub negatifnya ke titik B. GGL dan hambatan dalam tiap elemen ditunjukkan oleh gambar di bawah.



Beda potensial antara *A* dan *B* adalah . . . .
A. 12/13 V
B. 1,2 V
C. 2,8 V
D. 3,0 V
E. 9,0 V

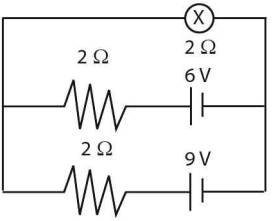
16. Perhatikan rangkaian berikut!



Gaya gerak listrik ε dari elemen pada rangkaian listrik tersebut adalah . . .

A. 2,7 V
B. 5,0 V
C. 8,0 V
D. 11,0 V
E. 24,0 V

17. Perhatikan rangkaian listrik berikut!



Besar arus listrik yang melalui lampu pada rangkaian searah adalah . . .

A. 0,75 A
B. 1,50 A
C. 2,25 A
D. 3,00 A
E. 3,75 A

18. Lima buah elemen dipasang paralel dengan E = 1,5 V dan R = 1 Ω,. Maka gaya gerak listrik penggantinya dan hambatan penggatinya berturut-turut adalah . . .

A. 1,5 V dan 0,2 Ω
B. 1,5 V dan 1 Ω
C. 1,5 V dan 5 Ω
D. 7,5 V dan 0,2 Ω
E. 7,5 V dan 5 Ω

19. Sebuah baterai dihubungkan dengan sebuah resistor akan menghasilkan arus 0,6 A. Jika pada rangkaian tersebut ditambahkan sebuah resistor 4,0 ohm yang dihubungkan seri dengan resistor pertama, maka arus akan turun menjadi 0,5 A. Gaya gerak listrik (GGL) baterai adalah . . .

A. 4 V
B. 5 V
C. 6 V
D. 12 V
E. 24 V

20. Sebuah generator mempunyai GGL sebesar 120 V. Jika generator tersebut mengeluarkan arus 20 A, maka tegangan ujung-ujung generator menjadi 115 V. Tahanan dalam generator adalah . . .
    A. 0,25 Ω
    B. 2,50 Ω
    C. 5,00 Ω
    D. 4,00 Ω
    E. 0,00 Ω

21. Lampu pijar dengan daya dan beda potensial masukan adalah 100 W dan 220 V. Bila lampu itu dipasang pada tegangan 110 V, maka daya lampu tersebut adalah . . .
    A. 25 W
    B. 50 W
    C. 75 W
    D. 100 W
    E. 200 W

22. Pada spesifikasi sebuah lampu pijar tertulis 25 W, 220 V. Hambatan lampu itu adalah . . .
    A. 1,936 Ω
    B. 19,36 Ω
    C. 193,6 Ω
    D. 1.936 Ω
    E. 2.000 Ω

23. Sebuah lampu pijar dengan spesifikasi (60 W, 220 V) dipasang pada tegangan 110 V. Daya yang dipergunakan lampu tersebut adalah . . .
    A. 10 W
    B. 15 W
    C. 20 W
    D. 30 W
    E. 45 W

24. Solder listrik 40 W, 220 V dipasang pada jaringan listrik yang bertegangan 110 V. Daya listrik yang digunakan solder adalah . . .
    A. 5 W
    B. 10 W
    C. 20 W
    D. 25 W
    E. 40 W

25. Pada sebuah alat pemanas tertera tulisan 300 W, 220 V. Jika alat tersebut dipasang pada sumber tegangan 110 V, maka energi listrik yang diserap tiap detik adalah . . .

A. 600 J
B. 300 J
C. 150 J
D. 75 J
E. 50 J

26. Lampu pijar tertulis 80 W, 220 V dipasang pada potensial 110 V. Daya yang dipakai lampu itu adalah . . .
A. 320 W
B. 160 W
C. 80 W
D. 40 W
E. 20 W

27. Perhatikan tabel berikut!

No.	Alat Listrik	Daya	Tegangan
1.	Radio	40 W	220 V
2.	Kipas angin	70 W	220 V
3.	TV	75 W	220 V
4.	Setrika	250 W	220 V
5.	Refrigerator	450 W	220 V

Kelima alat listrik di atas dirangkai secara pararel dan dihubungkan dengan tegangan 220 V. Dari kelima alat listrik tersebut yang mempunyai hambatan terbesar adalah . . .
A. Radio
B. Kipas angin
C. TV
D. Setrika
E. Refrigerator

28. Sebuah lampu listrik dengan spesifikasi 220 V dan 50 W dihubungkan seri dengan sebuah hambatan listrik 1000 ohm. Lampu tersebut dipasang pada tegangan listrik 110 V. Dengan demikian, arus listrik yang mengalir dalam rangkaian itu adalah . . .
A. 56 mA
B. 84 mA
C. 112 mA
D. 224 mA
E. 548 mA

29. Sebuah setrika listrik 350 W dipakai selama 1 jam. Energi listrik yang digunakan adalah . . .

A. 12,600 J
B. 126.000 J
C. 1.260.000 J
D. 12.600.000 J
E. 126.000.000 J

30. Sebuah keluarga menyewa listrik PLN sebesar 500 W dengan tegangan 110 V. Jika untuk penerangan keluarga itu menggunakan lampu 100 W, 220 V, maka jumlah lampu maksimum yang dapat dipasangkan sebanyak . . .
A. 5 buah
B. 10 buah
C. 15 buah
D. 20 buah
E. 25 buah

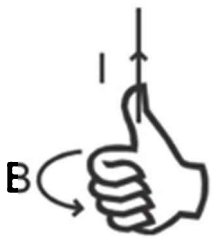
Fisika (bahasa Yunani: fysikós, "alamiah" atau fýsis, "alam") adalah ilmu tentang alam dalam makna yang terluas.

MEDAN MAGNETIK

15

A. MEDAN ELEKTROMAGNET

Medan magnet (induksi magnetik) dapat ditimbulkan oleh penghantar yang dialiri arus listrik. Hal ini telah ditemukan Hans Christian Oersted (1777 – 1851), yang mengemukakan bahwa jika sebuah magnet didekatkan pada suatu penghantar yang dialiri arus listrik, maka magnet tersebut akan menyimpang (terjadi simpangan).



Arah medan elektromagnet dapat ditentukan dengan ***kaidah tangan kanan***, yaitu ibu jari menandakan arah arus listrik dan keempat jari lainnya menunjukkan arah medan magnet.

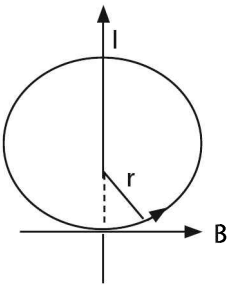
B. KUAT MEDAN MAGNET

a. Kuat Medan Magnet pada Kawat Lurus

Laplace (1749 – 1827) mengemukakan bahwa kuat medan magnet di sekitar arus listrik:

1) berbanding lurus dengan kuat arus listrik
2) berbanding lurus dengan panjang kawat penghantar

c) berbanding terbalik dengan kuadrat jarak suatu titik dari kawat penghantar tersebut.
d) arah induksi magnet tegak lurus dengan bidang yang dilalui arus listrik.



Secara matematis dapat dirumuskan:

$$dB = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot d\ell \sin\theta}{r^2}$$

dengan,

dB = elemen kuat medan magnet di suatu titik (Tesla atau Wb/m^2)
μ_0 = permeabilitas vakum ($4\pi \times 10^{-7}$ Wb/Am)
I = kuat arus listrik yang mengalir melalui kawat (A)
r = jarak titik ke elemen kawat berarus listrik (m)
$d\ell$ = panjang elemen kawat (m)
θ = sudut yang dibentuk antara garis singgung medan magnet pada kawat dengan titik tertentu.

Besar medan magnet di sekitar kawat yang dialiri arus listrik I yang berjarak a dapat dirumuskan:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi \cdot R}$$

dengan,

B = kuat medan magnet (Wb/m^2 atau Tesla)
μ_0 = permeabilitas vakum ($4\pi \times 10^{-7}$ Wb/Am)

I = kuat arus listrik yang mengalir melalui kawat (A)
R = jarak titik penghantar (m)

b. Kuat Medan Magnet pada Kawat Melingkar

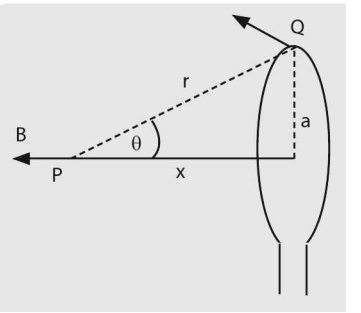
1. *Kuat Medan Magnet pada Sumbu Lingkaran*

Kuat medan magnet di titik sumbu lingkaran dapat dirumuskan:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I \cdot a \cdot \sin\theta}{2 \cdot r^2}$$

$$r = \sqrt{x^2 + R^2}$$

$$\sin\theta = \frac{R}{r}$$



dengan,
B = kuat medan magnet (Wb/m^2 atau Tesla)
μ_0 = permeabilitas vakum ($4\pi \times 10^{-7}$ Wb/Am)
N = banyaknya lilitan
I = kuat arus listrik yang mengalir melalui kawat (A)
R = jarak titik penghantar (m)

2. *Kuat Medan Magnet pada Pusat Lingkaran*

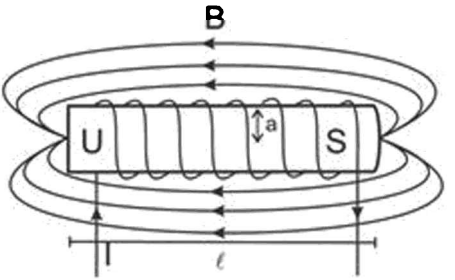
Kuat medan elektromagnet di pusat lingkaran dirumuskan:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot i}{2 \cdot R}$$

dengan,
B = kuat medan magnet (Wb/m^2 atau tesla)
μ_0 = permeabilitas vakum ($4\pi \times 10^{-7}$ Wb/Am)
N = banyaknya lilitan
i = kuat arus listrik yang mengalir melalui kawat (A)
R = jari-jari lingkaran kawat (m)

3. *Kuat Medan Magnet pada Solenoida*

Solenoida adalah sebuah kumparan dari kawat yang berdiameter lebih kecil dari panjangnya.



Kuat medan magnet di ujung solenoida dapat dirumuskan:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot i}{2\pi \cdot \ell}$$

Sedangkan kuat medan magnet di pusat solenoid dapat dirumuskan:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot i}{\ell}$$

dengan,

B = kuat medan magnet (Wb/m^2 atau tesla)
μ_0 = permeabilitas vakum ($4\pi \times 10^{-7}$ Wb/Am)
N = banyaknya lilitan
i = kuat arus listrik yang mengalir melalui kawat (A)
ℓ = panjang solenoid (m)

4. *Kuat Medan Magnet pada Toroida*

Toroida adalah sebuah solenoid yang dilengkungkan sehingga membentuk lingkaran. Kuat medan magnet pada toroida dapat dirumuskan:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot i}{2\pi \cdot r}$$

B = kuat medan magnet (Wb/m^2 atau tesla)
μ_0 = permeabilitas vakum ($4\pi \times 10^{-7}$ Wb/Am)
N = banyaknya lilitan
i = kuat arus listrik yang mengalir melalui kawat (A)
r = jari-jari toroida (m)

C. GAYA MAGNETIK (GAYA LORENTZ)

a. Gaya Lorentz pada Kawat Berarus Listrik di dalam Medan Magnet

Apabila sebuah kawat dialiri arus listrik dan diletakkan dalam medan magnet maka kawat tersebut akan merasakan gaya magnet (gaya Lorentz). Secara matematis dapat dirumuskan:

$$F_L = B \cdot I \cdot \ell \cdot \sin \alpha$$

dengan,
F_L = gaya Lorentz (N)
B = kuat medan magnet (Wb/m^2 atau Tesla)
I = kuat arus listrik yang mengalir melalui kawat (A)
ℓ = panjang kawat (m)
α = sudut yang dibentuk oleh medan magnet (B) dengan arus listrik (I).

b. Gaya Lorentz pada Kawat Sejajar Berarus Listrik

Dua buah kawat penghantar yang diletakkan sejajar dengan jarak tertentu akan mengalami gaya magnet (gaya Lorentz). Secara matematis gaya Lorentz pada kedua kawat penghantar dapat dirumuskan:

$$F_L = \frac{\mu_0 \cdot i_1 \cdot i_2}{2\pi \cdot d} \ell$$

dengan,

F_L = gaya Lorentz (N)
i_1 = kuat arus listrik yang mengalir melalui kawat 1 (A)
i_2 = kuat arus listrik yang mengalir melalui kawat 2 (A)
ℓ = panjang kawat (m)
d = jarak kedua kawat (m)

c. Gaya Lorentz pada Muatan yang Bergerak di dalam Medan Magnet

Muatan listrik yang bergerak di dalam medan listrik, akan mengalami gaya Lorentz. Arah gaya Lorentz pada muatan adalah tegak lurus terhadap medan magnet dan arah kecepatan muatan tersebut. Secara matematis dapat dirumuskan:

$$F_L = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$$

dengan,

F_L = gaya Lorentz (N)
q = muatan listrik (C)
v = kecepatan muatan (m/s)
B = kuat medan magnet (Wb/m^2 atau tesla)
α = sudut yang dibentuk oleh medan magnet (B) dengan arah kecepatan muatan (v).

Jika sudut yang terbentuk antara B dan v sebesar 90°, maka lintasan muatan berupa lingkaran. Sehingga gaya Lorentz besarnya sama dengan gaya sentripetal. Secara matematis dapat dirumuskan:

$$F_L = F_S$$

$$q \cdot v \cdot B \cdot \sin 90° = m\frac{v^2}{R}$$

$$q \cdot B \cdot R = m \cdot v$$

dengan,

F_L = gaya Lorentz (N)
F_S = gaya sentripetal (N)
q = muatan listrik (C)
B = kuat medan magnet (Wb/m^2 atau tesla)
R = jari-jari lintasan muatan (m)
m = massa muatan (kg)
v = kecepatan muatan (m/s)

CONTOH SOAL DAN PEMBAHASAN

1. Sebuah partikel di dekat kawat yang dialiri arus listrik 5 A merasakan medan magnet 0,005 T. Jarak partikel tersebut dengan kawat adalah . . . ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/Am)

   A. 1 mm
   B. 0,8 mm
   C. 0,6 mm
   D. 0,2 mm
   E. 0,02 mm

   Jawaban: D

   - Arus listrik yang mengalir pada kawat, I = 5 A
   - Kuat medan magnet, B = 0,005 T

   Jarak partikel terhadap kawat adalah :

$$r = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi \cdot B}$$
$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} \text{Wb/Am} \cdot 5 \text{ A}}{2\pi \cdot 5 \times 10^{-3} \text{T}}$$
$$= \frac{10 \times 10^{-7} \text{Wb/m}}{5 \times 10^{-3} \text{T}}$$
$$= 2 \times 10^{-4} \text{ m}$$
$$= 0{,}2 \text{ mm}$$

2. Sebuah solenoida yang panjangnya 60 cm dan mempunyai 2000 lilitan. Jika medan magnetik di ujung solenoida 0,05 T, maka kuat arus yang mengalir di solenoida adalah . . . ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/Am)

A. 7,5 A
B. 15 A
C. 30 A
D. 75 A
E. 100 A

Jawaban: D

- Panjang solenoida, $\ell = 60$ cm $= 0{,}6$ m
- Banyaknya lilitan, N = 2000 lilitan
- Kuat medan magnetik di ujung solenoida, B = 0,05 T

Kuat arus yang mengalir di solenoida adalah:

$$I = \frac{2\pi \cdot \ell \cdot B}{\mu_0 \cdot N}$$
$$= \frac{2\pi \cdot 0{,}6\ \text{m} \cdot 0{,}05\ \text{T}}{4\pi \times 10^{-7}\ \text{Wb/Am} \cdot 2000}$$
$$= \frac{3 \times 10^{-2}\ \text{Wb/m}}{4 \times 10^{-4}\ \text{Wb/Am}}$$
$$= 75\ \text{A}$$

3. Dalam suatu medan magnet, lintasan yang ditempuh oleh partikel bermassa $5{,}6 \times 10^{-27}$ kg dan bermuatan $4{,}2 \times 10^{-18}$ C berbentuk setengah lingkaran. Partikel bergerak karena adanya tegangan V. Dalam menempuh lintasan, partikel tersebut memotong medan magnet 0,003 T yang arahnya tegak lurus terhadap medan magnet, waktu yang diperlukan partikel untuk menempuh lintasan adalah . . . ($\pi = 3{,}14$)

A. $1{,}4 \times 10^{-6}$ s
B. $1{,}6 \times 10^{-6}$ s
C. $2{,}0 \times 10^{-6}$ s
D. $1{,}6 \times 10^{-7}$ s
E. $2{,}0 \times 10^{-7}$ s

Jawaban: A

- Massa partikel, $m = 5{,}6 \times 10^{-27}$ kg
- Muatan partikel, $q = 4{,}2 \times 10^{-18}$ C
- Medan magnet, $B = 3 \times 10^{-3}$ T

Panjang jari-jari lintasan partikel adalah:

$$R = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$$

Periode tempuh sebuah partikel satu lingkaran penuh adalah:

$$T = \frac{2\pi \cdot R}{v}$$

Periode tempuh sebuah partikel setengah lingkaran adalah:

$$\begin{aligned}
\tfrac{1}{2}T &= \frac{1}{2} \cdot \frac{2\pi \cdot R}{v} \\
&= \frac{\pi \cdot R}{v} \\
&= \frac{\pi \cdot \frac{m \cdot v}{q \cdot B}}{v} \\
&= \frac{\pi \cdot m}{q \cdot B} \\
&= \frac{3{,}14 \cdot 5{,}6 \times 10^{-27}\,\text{kg}}{4{,}2 \times 10^{-18}\,\text{C} \cdot 3 \times 10^{-3}\,\text{T}} \\
&= \frac{17{,}6 \times 10^{-27}}{12{,}6 \times 10^{-21}} \\
&= 1{,}4 \text{ x } 10^{-6} \text{ s}
\end{aligned}$$

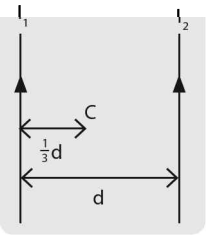
4. Dua kawat yang dipasang vertikal dengan jarak di antaranya D. Kawat pertama dialiri arus listrik I ke arah atas. Titik C terletak di antara kawat dan jaraknya $\frac{1}{3}$ d dari kawat pertama. Jika induksi magnetik di titik C besarnya nol, maka arus listrik yang mengalir di kawat kedua adalah . . .

   A. $\frac{1}{3}$ I ke bawah
   B. 2I ke atas
   C. $\frac{1}{2}$ I ke bawah
   C. 2I ke bawah
   D. 3I ke atas

   Jawaban: B

- Jarak antarkawat d
- Kawat pertama dialiri arus ke atas.
- Jarak titik C $\frac{1}{3}$ d dari kawat pertama
- Induksi medan magnetik di titik C adalah nol.

Medan magnetik dalam sistem dapat digambarkan sebagai berikut:



Arus listrik pada kawat kedua adalah:

$B_C = B_1 - B_2 = 0$

$B_1 = B_2$

$$\frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi \cdot \frac{1}{3}d} \cdot \frac{1}{3} = \frac{\mu_0 \cdot x}{2\pi \cdot \frac{1}{3}d} \cdot \frac{1}{3}$$

$$\frac{i}{d} = \frac{x}{2d}$$

$xd = 2id$

$x = 2i$ ke atas

5. Sebuah partikel bermuatan listrik bergerak dan masuk ke dalam magnet dan lintasannya membentuk lingkaran dengan jari-jari 6 cm. Partikel lain bergerak dengan kecepatan 1,4 kali partikel pertama, dan jari-jari lingkarannya 12 cm, Perbandingan massa per muatan partikel pertama dengan partikel kedua adalah . . .

A. 10 : 7
B. 7 : 10
C. 5 : 6
D. 6 : 5
E. 1 : 1

Jawaban: B

- Jari-jari lintasan partikel pertama, $R_1 = 6$ cm $= 6 \times 10^{-2}$ m
- Jari-jari lintasan partikel kedua, $R_2 = 6$ cm $= 12 \times 10^{-2}$ m
- Kecepatan partikel kedua 1,4 kali kecepatan partikel pertama.

Perbandingan massa per muatan partikel keduanya adalah:

$q \cdot B \cdot R = m \cdot v$

$\frac{m}{q} = \frac{B \cdot R}{v}$ karena kedua partikel berada pada medan magnet yang homogen maka dianggap tidak ada.

$\frac{m}{q} \sim \frac{R}{v}$

Maka,

$$\left(\frac{m}{q}\right)_1 : \left(\frac{m}{q}\right)_2 = \frac{R_1}{v_1} : \frac{R_2}{v_2}$$

$$= \frac{6 \times 10^{-2}}{v_1} \cdot \frac{1}{6 \times 10^{-2}} : \frac{12 \times 10^{-2}}{1{,}4 v_1} \cdot \frac{1}{6 \times 10^{-2}}$$

$$= 1 \cdot 1{,}4 : \frac{2}{14} \cdot 1{,}4$$

$$= 1{,}4 : 2$$

$$= 14 : 20$$

$$= 7 : 10$$

6. Ion-ion positif mempunyai massa $7{,}6 \times 10^{-25}$ kg ditempatkan di dalam tabung larutan spektrometer massa dan diberi tegangan 6 V, Setelah keluar dari celah, ion-ion tersebut menuju medan magnet sebesar 0,06 T yang arahnya tegak lurus, Jari-jari lintasan salah satu ion di dalam medan magnet tersebut adalah . . . ($q_{elektron} = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C)

A. 1,20 m
B. 0,71 m
C. 0,42 m
D. 0,30 m
E. 0,13 m

Jawaban: E

- Massa partikel ion, $m = 7{,}6 \times 10^{-25}$ kg
- Beda potensial pada spektrometer massa, $V = 6$ V
- Medan magnet pada spektrometer massa, $B = 6 \times 10^{-2}$ T

Ion yang bergerak ke arah medan magnet mempunyai energi kinetik, maka:

$E_k = q \cdot V$

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = q \cdot V$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot q \cdot V}{m}}$$

Jari-jari lintasan ion adalah:

$$R^2 = \frac{m^2}{q^2 \cdot B^2} \cdot \left(\sqrt{\frac{2 \cdot q \cdot V}{m}} \right)^2$$

$$R = \sqrt{\frac{m^2}{q^2 \cdot B^2} \frac{2 \cdot q \cdot V}{m}}$$

$= \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2m \cdot V}{q}}$ muatan ion positif dengan muatan elektron.

$$= \frac{1}{6 \times 10^{-2} \text{T}} \sqrt{\frac{2 \cdot 7{,}6 \times 10^{-25}\ \text{kg} \cdot 6 \text{V}}{1{,}6 \times 10^{-19} \text{C}}}$$

$$= \frac{1}{6 \times 10^{-2} \text{T}} \sqrt{\frac{91{,}2 \times 10^{-25} \text{kgV}}{1{,}6 \times 10^{-19} \text{C}}}$$

$$= \frac{1}{6 \times 10^{-2}} \sqrt{57 \times 10^{-6}}$$

$$= \frac{1}{6 \times 10^{-2}} \cdot 7{,}6 \cdot 10^{-3}$$

$= 0{,}13$ m

7. Partikel bermuatan q bergerak dengan laju tetap memasuki medan magnet dan medan listrik secara tegak lurus (medan listrik tegak lurus dengan medan magnet). Jika besar induksi magnet 0,2 T dan kuat medan listrik 6×10^4 V/m maka laju gerak partikel adalah . . . .

A. 2×10^5 m/s
B. 3×10^5 m/s
C. $1{,}2 \times 10^6$ m/s
D. 2×10^6 m/s
E. 3×10^6 m/s

Jawaban: B

- Partikel bermuatan q.
- Kuat induksi magnet, B = 0,2 T
- Kuat medan listrik, $E = 6 \times 10^4$ V/m

Kecepatan partikel adalah:

$$v = \frac{E}{B}$$
$$= \frac{6 \times 10^4 \text{ V/m}}{0{,}2 \text{ T}}$$
$$= 3 \text{ x } 10^5 \text{ m/s}$$

8. Suatu toroida jari-jari efektif 30 cm dialiri arus listrik 0,9 A. Saat diukur dengan teslameter induksi magnetik di sumbu toroida sebesar $1{,}6 \times 10^{-3}$ T, banyaknya lilitan pada toroida tersebut adalah . . . ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/Am)

A. 5600 lilitan
B. 4888 lilitan
C. 4040 lilitan
D. 2666 lilitan
E. 1400 lilitan

Jawaban: D

- Jari-jari toroida, $a = 30 \text{ cm} = 30 \times 10^{-2}$ m
- Arus listrik yang mengalir di toroida, I = 0,9 A
- Induksi magnetik di toroida, $B = 1{,}6 \times 10^{-3}$ T

Banyaknya lilitan pada toroida adalah:

$$N = \frac{2\pi \cdot a \cdot B}{\mu_0 \cdot I}$$

$$= \frac{2\pi \cdot 30 \times 10^{-2}\,\text{m} \cdot 1{,}6 \times 10^{-3}\,\text{T}}{4\pi \times 10^{-7} \cdot 0{,}9\,\text{A}}$$

$$= \frac{96\pi \times 10^{-5}}{3{,}6\pi \times 10^{-7}}$$

$= 2666$ lilitan

9. Sebuah partikel bermuatan listrik bergerak lurus memasuki ruang yang mengandung medan magnet yang saling tegak lurus dengan medan listrik. Jika besar induksi magnet 0,005 T dan kuat medan listrik 7×10^4 V/m, maka kecepatan partikel adalah . . .

A. $1{,}2 \times 10^7$ m/s
B. $1{,}4 \times 10^7$ m/s
C. $2{,}8 \times 10^7$ m/s
D. $3{,}2 \times 10^7$ m/s
E. $3{,}4 \times 10^7$ m/s

Jawaban: B

- Besar induksi magnet, $B = 0{,}005\,\text{T} = 5 \times 10^{-3}\,\text{T}$
- Besar medan listrik, $E = 7 \times 10^4$ V/m
- Medan magnet tegak lurus dengan medan listrik dan kecepatan partikel, $\alpha = 90°$

Kecepatan partikelnya adalah:

$F_L = q \cdot v \cdot B \cdot \sin\alpha$

Arah kecepatan partikel tegak lurus dengan medan magnet ($v \perp B$) maka $\alpha = 90°$.

$F_L = q \cdot v \cdot B \cdot \sin 90°$

$= q \cdot v \cdot B$

$F = q \cdot E$

Maka $E = v \cdot B$

$$v = \frac{E}{B}$$

$$= \frac{7 \times 10^4\,\text{V/m}}{5 \times 10^{-3}\,\text{T}}$$

$$= 1{,}4 \times 10^7\ \text{m/s}$$

10. Pada dua buah kawat sejajar yang masing-masing dialiri arus listrik yang sama besar, timbul gaya yang besarnya 2×10^{-7} N/m. Jarak antara kedua kawat 1 m. Besar arus listrik masing-masing kawat adalah . . .

A. $\frac{1}{8}$A
B. $\frac{1}{4}$A
C. $\frac{1}{2}$A
D. 1 A
E. 2 A

Jawaban: D

- Gaya Lorentz yang bekerja, $F_L = 2 \times 10^{-7}$ N/m
- Jarak kedua kawat, d = 1 m
- Kuat arus listrik yang mengalir di kedua kawat adalah sama ($i_1 = i_2$)

Besar arus listrik masing-masing kawat adalah:

$$\frac{F_L}{\ell} = \frac{\mu_0 \cdot i^2}{2\pi \cdot d}$$

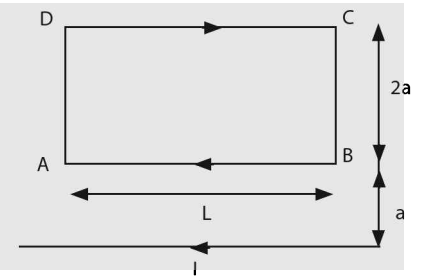
$$\begin{aligned} i &= \sqrt{\frac{2\pi \cdot d}{\mu_0} \cdot \frac{F_L}{\ell}} \\ &= \sqrt{\frac{2\pi \cdot 1\ m}{4\pi \times 10^{-7} Wb/Am} \cdot 2 \times 10^{-7} N/m} \\ &= \sqrt{\frac{2 \times 10^{-7} N/m}{2 \times 10^{-7} Wb/A}} \\ &= \sqrt{1\ A^2} \\ &= 1\ A \end{aligned}$$

LATIHAN SOAL 15

1. Medan magnetik dapat ditimbulkan oleh berbagai faktor.
   (1) Muatan listrik yang bergerak
   (2) Konduktor yang dialiri arus searah
   (3) Konduktor yang dialiri arus bolak-balik
   (4) Menyimpang searah dengan arus
   Pernyataan tersebut di atas yang benar adalah . . .
   A. (1), (2), dan (3)
   B. (1) dan (3)
   C. (2) dan (4)
   D. (4) saja
   E. semua benar

2. Besarnya kuat medan magnetik di suatu titik di sekitar kawat penghantar lurus berarus listrik berbanding lurus dengan . . .
   A. Panjang kawat
   B. Kuat arus listrik
   C. Jari – jari penampang lintang kawat
   D. Hambatan kawat
   E. Jarak titik ke penghantar

3. Perhatikan gambar berikut.



Besar gaya Lorentz yang dikenakan kawat ABCD adalah . . .

A. $\frac{\mu_0 \cdot I^2 \cdot L}{\pi \cdot a}$

B. $\frac{\mu_0 \cdot I^2 \cdot L}{2\pi \cdot a}$

C. $\frac{\mu_0 \cdot I^2 \cdot L}{3\pi \cdot a}$

D. $\frac{2\mu_0 \cdot I^2 \cdot L}{\pi \cdot a}$

E. $\frac{\mu_0 \cdot I^2 \cdot L}{6\pi \cdot a}$

4. Besar kuat medan magnet di suatu titik yang letaknya sejauh *r* dari suatu penghantar lurus yang dialiri arus listrik *I* adalah sebanding dengan . . .

A. I

B. rI

C. $\frac{r}{I}$

D. $\frac{I}{r}$

E. $\frac{I}{rI}$

5. Dua kawat lurus panjang sejajar berjarak antara 10 cm dialiri arus masing – masing 400 mA dan 500 mA. Jika arus berlawanan arah dan $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb(A.m), gaya interaksi kedua kawat per satuan panjang kawat adalah . . .

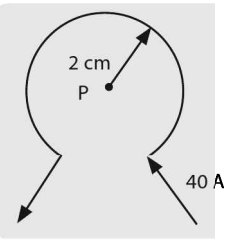
A. 4×10^{-9} Nm^{-1}, tarik–menarik

B. 4×10^{-9} Nm^{-1}, tolak–menolak

C. $4\pi \times 10^{-9}$ Nm^{-1}, tarik–menarik
D. $4\pi \times 10^{-9}$ Nm^{-1}, tolak–menolak
E. $4\pi \times 10^{-7}$ Nm^{-1}, tolak–menolak

6. Sebuah partikel di dekat kawat yang dialiri arus listrik 5 A merasakan medan magnet 0,005T. Jarak partikel tersebut dengan kawat adalah . . . ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/Am)
A. 1 mm
B. 0,8 mm
C. 0,6 mm
D. 0,2 mm
E. 0,02 mm

7. Gambar di bawah ini menunjukkan kawat yang dialiri arus 40 A.



Dalam gambar tersebut, garis yang ditarik dari arah arus datang dengan arah arus keluar berpotongan pada titik pusat lingkaran secara tegak lurus. Bagian kawat yang melingkar berjari-jari 2 cm. Kuat medan magnet di titik P adalah . . .
A. 0,30 mT
B. 0,94 mT
C. 1,24 mT
D. 3,14 mT
E. 5,20 mT

8. Sebuah solenioda yang panjangnya 40 cm mempunyai 1.000 lilitan dan dialiri arus 5 A. Jika $\mu 0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb A^{-1} m^{-1}, maka besar induksi magnetik pada salah satu ujungnya adalah.....
A. $2{,}5 \times 10^{-3}$ Wb/m^2
B. $2{,}5\ \pi \times 10^{-3}$ Wb/m^2
C. 5×10^{-3} Wb/m^2
D. $5\ \pi \times 10^{-3}$ Wb/m^2
E. $\pi \times 10^{-2}$ Wb/m^2

9. Sebuah kawat dialiri listrik sebesar 25 A. Kuat medan magnet pada sebuah titik yang berjarak 20 cm dari pusat kawat adalah . . .($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/Am)

A. $2{,}5 \times 10^{-5}$ T
B. $2{,}0 \times 10^{-5}$ T
C. $1{,}5 \times 10^{-5}$ T
D. $2{,}5 \times 10^{-4}$ T
E. $2{,}0 \times 10^{-4}$ T

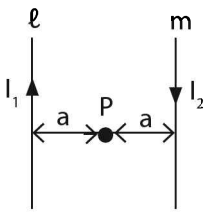
10. Sebuah solenioda yang panjangnya 2 meter memiliki 800 lilitan dan jari-jari 2 cm. Solenioda itu dialiri arus sebesar 0,5 A. Induksi magnetik pada ujung solenioda ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb A^{-1} m^{-1}) adalah . . .
A. $8\pi \times 10^{-7}$ Wb/m^2
B. $4\pi \times 10^{-5}$ Wb/m^2
C. $8\pi \times 10^{-5}$ Wb/m^2
D. $4\pi \times 10^{-6}$ Wb/m^2
E. $2\pi \times 10^{-4}$ Wb/m^2

11. Elektron bergerak dengan kecepatan 5×10^8 m/s sejajar dengan kawat yang berarus 10 A. Pada jarak 10 cm dari kawat, elektron mendapatkan gaya Lorentz sebesar $5{,}6 \times 10^{-16}$ N. Sudut yang dibentuk antara arah kecepatan elektron dengan medan magnet adalah.....($q_{elektron} = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/Am)
A. 11°
B. 16,3°
C. 20,5°
D. 45°
E. 66,7°

12. Suatu toroida jari-jari efektif 30 cm dialiri arus listrik 0,9 A. Saat diukur dengan teslameter, induksi magnetik di sumbu toroida sebesar $1{,}6 \times 10^{-3}$ T. Jika $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/Am , maka banyaknya lilitan pada toroida tersebut adalah . . .
A. 5.600 lilitan
B. 4.888 lilitan
C. 4.040 lilitan
D. 2.666 lilitan
E. 1.400 lilitan

13. Jika sebuah kompas didekatkan dengan sebuah kawat yang dialiri arus listrik, maka . . .
A. Tidak terpengauh oleh arus listrik
B. Menyimpang ke arah sejajar dengan kawat
C. Beputar terus menerus
D. Menyimpang searah dengan arus
E. Menyimpang ke arah tegak lurus kawat

14. Dua kawat sejajar, ℓ dan m dialiri arus listrik I_1 dan I_2 ($I_1 > I_2$).



Berdasarkan kaidah tangan kanan, arah medan magnet pada titik *P* adalah . . .

A. Ke kanan
B. Ke kiri
C. Tegak lurus bidang kertas menjauhi pembaca
D. Tegak lurus bidang kertas menuju pembaca
E. Ke atas

15. Arus listrik mengalir sepanjang kawat listrik tegangan tinggi dari selatan ke utara. Arah medan magnetik yang diakibatkan arus listrik diatas kawat tersebut adalah . . .

A. Selatan
B. Utara
C. Timur
D. Barat
E. Tenggara

16. Sebuah partikel bermuatan listrik bergerak masuk ke dalam magnet dan lintasannya membentuk lingkaran dengan jari-jari 6 cm. Jika kemudian ada partikel lain bergerak dengan kecepatan 1,4 kali partikel pertama dan jari-jari lingkarannya 12 cm, maka perbandingan massa per muatan partikel pertama dengan partikel kedua adalah . . .

A. 10 : 7
B. 7 : 10
C. 5 : 6
D. 6 : 5
E. 1 : 1

17. Dua titik *A* dan *B* berada di sekitar kawat lurus berarus listrik *I*. Jarak titik tersebut dari kawat masing-masing 6 cm dan 9 cm. Maka besar perbandingan induksi magnetik antara titik *A* dengan titik *B* adalah . . . .

A. 2 : 3
B. 3 : 1
C. 2 : 3
D. 2 : 1
E. 1 : 2

18. Partikel bermuatan q bergerak dengan laju tetap memasuki medan magnet dan medan listrik secara tegak lurus (medan listrik tegak lurus dengan medan magnet). Jika besar induksi magnet 0,2 T dan kuat medan listrik 6×10^4 V/m, maka laju gerak partikel adalah . . .
A. 2×10^5 m/s
B. 3×10^5 m/s
C. $1{,}2 \times 10^6$ m/s
D. 2×10^6 m/s
E. 3×10^6 m/s

19. Sepotong kawat penghantar lurus dialiri arus listrik dengan arahnya ke Timur. Kawat penghantar tersebut diletakkan di dalam medan magnetik yang arahnya ke Utara. Pada penghantar akan timbul gaya yang arahnya ke . . . .
A. Timur laut
B. Bawah
C. Atas
D. Barat
E. Selatan

20. Dua kawat lurus panjang dan sejajar, masing – masing dialiri arus listrik sebesar i. Gaya yang dialami tiap–tiap kawat berbanding lurus dengan . . .
A. $\sqrt{i}$
B. i
C. $i\sqrt{i}$
D. 2^{-2}
E. $i^2\sqrt{i}$

21. Besar gaya yang dialami kawat lurus berarus listrik di dalam medan magnet homogen tidak tergantung pada . . .
A. Posisi kawat dalam medan magnet
B. Panjang kawat
C. Kuat arusnya
D. Kuat medan magnetnya
E. Hambatan kawat

22. Pada dua buah kawat sejajar yang masing-masing dialiri arus listrik yang sama besar, timbul gaya yang besarnya 2×10^{-7} N/m. Jarak

antara kedua kawat 1 m. Besar arus listrik masing-masing kawat adalah . . .

A. $\frac{1}{8}$A
B. $\frac{1}{4}$A
C. $\frac{1}{2}$A
D. 1 A
E. 2 A

23. Titik P berjarak D dari suatu kawat penghantar yang sangat panjang dan berarus listrik I. Medium sekitar kawat itu memiliki permeabilitas μ. Besar induksi magnetik titik P adalah . . .

A. $B = \frac{2\pi I}{\mu d}$
B. $B = \frac{\mu d}{2\pi I}$
C. $B = \frac{\mu I}{2\pi d}$
D. $B = \frac{2\mu Id}{\pi}$
E. $B = \frac{\mu Id}{2\pi}$

24. Sebuah partikel bermuatan listrik bergerak memasuki ruang yang mengandung medan magnet yang saling tegak lurus dengan medan listrik dan kecepatan partikel. Jika besar induksi magnet 0,005 T dan kuat medan listrik 7×10^4 V/m, dan partikel bergerak lurus, maka kecepatan partikel adalah . . . .

A. $1{,}2 \times 10^7$ m/s
B. $1{,}4 \times 10^7$ m/s
C. $2{,}8 \times 10^7$ m/s
D. $3{,}2 \times 10^7$ m/s
E. $3{,}4 \times 10^7$ m/s

25. Kawat melingkar memiliki jari-jari R meter dan berarus i. Jika $\mu_0 = 4\pi \times 10^7$ Wb A^{-1} m^{-1} , maka kuat medan magnetik (induksi magnetik) di pusat kawat adalah . . .

A. $\frac{\mu_o i}{2R}$T
B. $\mu_0 i (2\pi R^2)$ T
C. $\mu_0 i (2\pi R)$ T
D. $\frac{\mu_o i}{2\pi R}$T
E. $\frac{\mu_o i}{2\pi R^2}$T

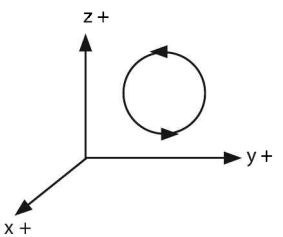
26. Dua buah kawat sejajar yang masing-masing dialiri arus listrik 3 A hingga timbul gaya Lorentz yang besarnya 2×10^{-7} N/m. Tentukan jarak antara kedua kawat tersebut . . .

A. 18 m
B. 9 m
C. 5 m
D. 1,8 m
E. 0,9 m

27. Dua kawat sejajar, ℓ dan m masing – masing panjangnya 2 m dan terpisah pada jarak 2 cm. Pada kawat m yang kuat arusnya 1,5 A mengalami gaya magnetik dari kuat arus pada kawat ℓ sebesar 6 x 10^5 N ($\mu_0 = 4\pi \times 10^7$ T/A.m). Kuat arus pada kawat ℓ adalah . . .

A. 1,2 A
B. 1,5 A
C. 2,0 A
D. 2,4 A
E. 3,0 A

28. Sebuah elektron bergerak searah dengan sumbu y positif dan masuk kedalam medan magnetik homogen sehingga menjalani gerak melingkar seperti pada gambar.



Hal Ini menunjukkan bahwa medan magnetik searah dengan sumbu . . .

A. *z* negatif
B. *z* positif
C. *y* positif
D. *x* positif
E. *x* negatif

29. Ion-ion positif mempunyai massa $7{,}6 \times 10^{-25}$ kg ditempatkan di dalam tabung larutan spektrometer massa dan diberi tegangan 6 V. Setelah keluar dari celah kemudian menuju medan magnet sebesar 0,06 T yang arahnya tegak lurus, jari-jari lintasan salah satu ion di

dalam medan magnet tersebut adalah . . . ($q_{elektron} = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C)

A. 1,20 m
B. 0,71 m
C. 0,42 m
D. 0,30 m
E. 0,13 m

30. Sebatang logam tipis mendatar memiliki massa 25 gram dan panjang 50 cm. Jika medan magnetik yang mengenai logam 1 T, maka kuat arus minimum yang melalui logam dan dapat menyebabkan logam mengapung adalah . . . ($g = 10$ m/s^2)

A. 0,2 A
B. 0,3 A
C. 0,4 A
D. 0,5 A
E. 1 A

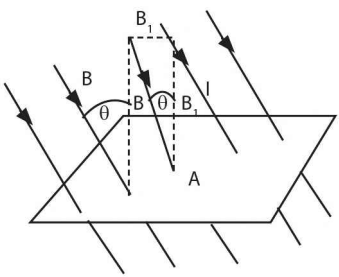
Fisika (bahasa Yunani: fysikós, "alamiah" atau fýsis, "alam") adalah ilmu tentang alam dalam makna yang terluas.

INDUKSI ELEKTROMAGNETIK

16

A. FLUKS MAGNETIK

Fluks magnetik adalah hasil perkalian antara komponen induksi magnetik tegak lurus bidang B dengan luas A. Akan tetapi induksi magnet tidak selalu tegak lurus pada bidang.



Secara matematis dapat dirumuskan:

$\Phi = B \cdot A \cdot \cos \theta$

dengan,

Φ = fluks magnet (Wb)
B = induksi magnet (T)
A = luas bidang (m^2)
θ = sudut antara arah induksi magnet B dengan sudut normal bidang

B. HUKUM FARADAY

Hukum Faraday menyatakan ggl induksi yang timbul pada ujung-ujung suatu penghantar kumparan sebanding dengan laju perubahan fluks magnetik yang dilingkupi oleh loop penghantar kumparan tersebut. Secara matematis dapat dirumuskan:

$$\varepsilon = -N \cdot \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t}$$

$$= -N \cdot \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{t_2 - t_1}$$

dengan,

ε = ggl induksi (volt atau V)

N = jumlah lilitan kumparan

$\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ = laju perubahan fluks magnet (Wb/s)

C. PENGHANTAR DALAM MEDAN MAGNET (HUKUM LENZ)

Sebuah penghantar yang bergerak dengan kecepatan v di dalam medan magnet B akan menyapu luasan yang terus berubah, karena perubahan luas menyebabkan pada ujung penghantar akan menimbulkan beda potensial. Besarnya beda potensial dapat dirumuskan:

$$\varepsilon = B \cdot \ell \cdot v \cdot \sin \theta$$

dengan,

ε = ggl induksi (V)

B = medan magnet atau induksi magnet (Wb/m^2 atau T)

ℓ = panjang penghantar (m)

v = kecepatan gerak penghantar (m/s)

θ = sudut yang terbentuk antara arah kecepatan v dengan medan magnetik B

D. GGL INDUKSI DIRI (HUKUM HENRY)

Ggl induksi diri terjadi jika arus yang mengalir pada suatu penghantar berubah tiap waktu, hal ini dirumuskan oleh Joseph Henry sebagai berikut:

$$\varepsilon = -L \cdot \frac{dI}{dt}$$

Apabila kuat arusnya konstan, maka dapat dirumuskan:

$$\varepsilon = -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$
$$= -L \cdot \left(\frac{I_2 - I_1}{t_2 - t_1} \right)$$

dengan,

ε = ggl induksi diri (V)

L = induktansi diri (H)

$\frac{dI}{dt}$ = besarnya perubahan arus tiap waktu (A/s)

Induktansi diri adalah proses timbulnya ggl dalam penghantar Induktansi diri terjadi sebanding dengan perubahan kuat arus 1 A tiap detik. Secara matematis dapat dirumuskan:

$$L = \frac{N \cdot \phi}{I}$$

dengan,

L = induktansi diri (H)

N = jumlah lilitan dalam kumparan

Φ = fluks magnet (Wb)

I = kuat arus yang mengalir (A)

Sedangkan induktansi diri di pusat solenoida adalah:

$$L = \frac{\mu_0 \cdot N^2 \cdot A}{\ell}$$

dengan,

μ_0 = permeabilitas vakum ($4\pi \times 10^{-7}$ Wb/Am)
N = jumlah lilitan pada solenoida
A = luas bidang kumparan
ℓ = panjang solenoida (m)

E. APLIKASI INDUKSI ELEKTROMAGNETIK

a. Generator

Prinsip kerja generator adalah putaran kumparan dalam medan magnet menimbulkan perubahan fluks magnetnyadan ggl induksi. Besarnya ggl induksi tergantung pada kecepatan putaran dari energi mekanik. Besarnya ggl induksi generator dapat dirumuskan:

$$\varepsilon = \varepsilon_{max} \cdot \sin \omega t$$
$$= N \cdot B \cdot A \cdot \sin \omega t$$

Ggl maksimum dapat dirumuskan:

$$\varepsilon_{max} = N \cdot B \cdot A \cdot \omega$$

dengan,

ε_{max} = ggl maksimum (V)
ω = kecepatan sudut (rad/s)
N = jumlah lilitan
B = induksi magnet (T)
A = luas kumparan
t = waktu (s)

b. Transformator (Trafo)

Transformator adalah alat untuk mengubah besarnya tegangan bolak-balik (AC) tanpa kehilangan daya yang besar. Transformator terdiri dari tiga bagian, yaitu inti besi (inti magnetik), kumparan primer (N_p), dan kumparan sekunder (N_s). Persamaan untuk transformator dapat dirumuskan:

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S}$$

dengan,
V_P = tegangan pada kumparan primer (V)
V_S = tegangan pada kumparan primer (V)
N_P = banyaknya lilitan pada kumparan primer
N_S = banyaknya lilitan pada kumparan sekunder

Transformator dibagi menjadi dua jenis:

1. Transformator step-up, berfungsi untuk menaikkan/memperbesar tegangan bolak-balik suatu sumber. Ciri-ciri: $V_P < V_S$, $N_P < N_S$, dan $I_P > I_S$
2. Transformator step-down, berfungsi untuk menurunkan/memperkecil tegangan bolak-balik suatu sumber. Ciri-ciri: $V_P > V_S$, $N_P > N_S$, dan $I_P < I_S$

c. Efisiensi transformator

Efisiensi transformator adalah besaran yang menyatakan perbandingan antara daya keluaran dengan gaya keluaran. Secara matematis dapat dirumuskan:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$
$$= \frac{P_S}{P_P} \times 100\%$$
$$= \frac{V_S \cdot I_S}{V_P \cdot I_P} \times 100\%$$

dengan,
η = efisiensi transformator (%)
P_S = daya pada kumparan sekunder (W)
P_P = daya pada kumparan primer (W)
I_S = kuat arus pada kumparan sekunder (A)
I_P = kuat arus pada kumparan primer (A)

CONTOH SOAL DAN PEMBAHASAN

1. Sebuah bidang seluas 30 cm^2 berada dalam medan magnet dan membentuk sudut 60° dengan arah normal, dan menimbulkan fluks magnetik sebesar $6{,}3 \times 10^{-3}$ Wb. Kuat medan magnet yang mempengaruhi bidang tersebut adalah . . .

   A. 3,0 T
   B. 3,4 T
   C. 4,0 T
   D. 4,2 T
   E. 4,5 T

   Jawaban: D

   - Luas bidang, $A = 30\ cm^2 = 3 \times 10^{-3}\ m^2$
   - Sudut yang terbentuk antara bidang dengan arah normal, $\theta = 60°$
   - Besar fluks magnetik, $\Phi = 6{,}3 \times 10^{-3}$ Wb

   Medan magnet yang mempengaruhi bidang adalah:

$$B = \frac{\Phi}{A \cdot \cos\theta}$$
$$= \frac{6{,}3 \times 10^{-3} Wb}{3 \times 10^{-3}\ m^2 \cdot \cos 60°}$$
$$= \frac{6{,}3 \times 10^{-3} Wb}{3 \times 10^{-3} m^2 \cdot 0{,}5}$$
$$= \frac{6{,}3 \times 10^{-3} Wb}{1{,}5 \times 10^{-3} m^2}$$
$$= 4{,}2\ T$$

2. Suatu benda yang mempunyai luas permukaan 150 cm^2 diletakkan dalam medan magnetik 0,6 T dan menghasilkan fluks magnetik 6×10^{-3} Wb, berapakah sudut yang terbentuk antara benda dengan arah medan magnet . . .

   A. 12°
   B. 30°
   C. 36°
   D. 42°
   E. 63°

   Jawaban: D

- Luas permukaan benda, A = 150 cm^2 = 1,5 × 10^{-2} m^2
- Kuat medan magnet, B = 0,6 T
- Fluks magnetik yang dihasilkan adalah, $\Phi = 6 \times 10^{-3}$ Wb

Sudut yang terbentuk antara permukaan benda yang tertembus medan magnet dengan arah garis medan magnet itu sendiri adalah:

$$\sin\theta = \frac{\Phi}{B \cdot A}$$

$$= \frac{6 \times 10^{-3} Wb}{0{,}6\ T \cdot 1{,}5 \times 10^{-2} m^2}$$

$$= \frac{6 \times 10^{-3}}{9 \times 10^{-3}}$$

$$= 0{,}67$$

arc sin (0,67) = 42°

3. Diketahui fluks magnetik pada suatu kumparan berkurang dari 0,8 weber menjadi 0,3 weber hanya dalam waktu 4 detik. Jika kumparan itu mempunyai 300 lilitan dengan besar hambatannya 4 Ω, maka besar kuat arus listrik yang mengalir melalui kumparan tersebut adalah . . . .

A. 9,4 A
B. 8,4 A
C. 7,2 A
D. 5,0 A
E. 1,4 A

Jawaban: A

- Perubahan fluks magnetik pada kumparan $\Delta\Phi$ = 0,8 – 0,3 = 0,5 Wb
- Waktu, t = 4 s
- Banyaknya lilitan dalam kumparan, N = 300 lilitan
- Hambatan dalam kumparan, R = 4 Ω

Ggl induksi yang dihasilkan adalah:

$$\varepsilon = -N \cdot \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t}$$

$$= -300 \cdot \frac{0{,}5 \text{ Wb}}{4\ \Omega}$$

= –37,5 V (tanda (–) menandakan perubahan fluks induksi berlawanan arah dengan fluks magnetik utama).

Arus yang mengalir melalui kumparan adalah:

$$I = \frac{\varepsilon}{R}$$

$$= \frac{37{,}5 \text{ V}}{4\ \Omega}$$

$$= 9{,}4 \text{ A}$$

4. Diketahui sebuah kumparan memiliki luas penampang 100 cm^2, besar hambatan 4 Ω, dan jumlah lilitan sebanyak 400 berada dalam suatu medan magnetik yang arahnya sejajar dengan sumbu kumparan. Besar induksi magnetiknya berubah-ubah menurut persamaan B = 10^{-4} sin 2000t. Besar kuat arus induksi maksimum yang timbul pada kumparan tersebut adalah . . .

A. 2 A
B. 200 mA
C. 1 A
D. 0,1 A
E. 20 mA

Jawaban: B

- Luas penampang kumparan, A = 100 cm^2 = 10^{-2} m^2
- Hambatan kumparan, R = 4 Ω
- Banyaknya lilitan, N = 400 lilitan
- Persamaan perubahan induksi magnetik, B = 10^{-4} sin 2000 t

Perubahan induksi terhadap waktu:

$$\frac{dB}{dt} = \frac{d}{dt} 10^{-4} \sin 2000\ t$$

$$= 10^{-4} \cdot 2000 \cos 2000\ t$$

$$= 0{,}2 \cos 2000t$$

Kuat arus induksi maksimum pada kumparan tersebut adalah

$$\varepsilon = -N \cdot A \cdot \frac{dB}{dt}$$

$$I \cdot R = -N \cdot A \cdot \frac{dB}{dt}$$

$$I = \frac{-N \cdot A \cdot \frac{dB}{dt}}{r}$$

$$= \frac{-400 \cdot 10^{-2}\, m^2 \cdot 0{,}2 \cos 2000t}{4\Omega}$$

$$= \frac{-0{,}8 \cos 2000t}{4}$$

$$= -02 \cdot \cos\ 2000\ t\ A$$

Arus listrik mencapai maksimal (I_{maks}) jika cos 2000 t = 1, maka:

I_{maks} = −0,2 A · cos 2000 t
= −0,2 · 1
= 0,2 A
= 200 mA

5. Kawat PQ panjang 20 cm digerakkan ke kanan dengan kecepatan 20 m/s dan memotong tegak lurus induksi magnet 5×10^{-2} T. Jika kawat mempunyai hambatan 0,1 Ω, maka besar gaya Lorentz pada kawat PQ adalah . . .

A. 2×10^{-2} N
B. 2×10^{-1} N
C. 20 N
D. 200 N
E. 2000 N

Jawaban: A

- Panjang kawat PQ, ℓ = 20 cm = 0,2 m
- Kecepatan gerak kawat, v = 20 m/s
- Induksi magnet, $B = 5 \times 10^{-2}$ T
- Hambatan kawat, R = 0,1Ω
- Sudut arah kecepatan kawat tegak lurus dengan induksi magnet, θ = 90°

Ggl induksi kumparannya adalah:

$\varepsilon = B \cdot \ell \cdot v \cdot \sin \theta$

$= 5 \times 10^{-2}\ T \cdot 0{,}2\ m \cdot 20\ m/s \cdot \sin 90°$

$= 0{,}2\ Tm^2/s \cdot 1$

$= 0{,}2\ V$

Kuat arus yang mengalir pada kawat PQ adalah:

$$i = \frac{\varepsilon}{R}$$

$$= \frac{0{,}2\ V}{0{,}1\ \Omega}$$

$$= 2\ A$$

Besar gaya Lorentz pada kawat PQ adalah:

$F_L = B \cdot I \cdot \ell \cdot \sin \theta$

$= 5 \times 10^{-2}\ T \cdot 2\ A \cdot 0{,}2\ m \cdot \sin 90°$

$= 2 \times 10^{-2} \cdot 1$

$= 2 \times 10^{-2}\ N$

6. Sebuah hambatan kawat logam dengan besar hambatan 2 Ω, berada dalam medan magnet 2 T. Bila terdapat batang logam yang panjangnya 30 cm digerakkan sehingga arus listrik mengalir 600 mA pada kawat, maka kecepatan gerak kawat tersebut adalah . . .

A. 0,6 m/s
B. 0,8 m/s
C. 3,6 m/s
D. 2 m/s
E. 0,2 m/s

Jawaban: D

- Panjang kawat, ℓ = 30 cm = 0,3 m
- Induksi magnet, B = 2 T
- Hambatan kawat, R = 2 Ω
- Arus listrik yang mengalir, I = 600 mA = 0,6 A
- Sudut arah kecepatan kawat tegak lurus dengan induksi magnet, θ = 90°

Ggl induksi kumparannya adalah:

$\varepsilon = I \cdot R$

$= 0{,}6\ A \cdot 2\Omega$

$= 1{,}2\ V$

Kecepatan gerak kawat tersebut adalah:

$$v = \frac{\varepsilon}{B \cdot \ell \cdot \sin\theta}$$

$$= \frac{1{,}2\ V}{2\ T \cdot 0{,}3\ m \cdot \sin 90^\circ}$$

$$= \frac{1{,}2}{0{,}6 \cdot 1}$$

$$= 2\ m/s.$$

7. Arus yang mengalir melalui kumparan dapat dinyatakan dengan I = 3 sin ω t. Jika frekuensi arus 60 Hz dan induktansi diri kumparan 7 H, maka ggl induksi diri maksimum antara ujung-ujung kumparan adalah . . .

A. 1750 π V
B. 2520 π V
C. 2675 π V
D. 3000 π V
E. 3876 π V

Jawaban: B

- Kuat arus yang mengalir, i = 3 sin ω t
- Frekuensi arus listrik yang mengalir, f = 60 Hz
- Induktansi diri kumparan, L = 7 H

Kecepatan angular arus listrik adalah:

$\omega = 2\pi \cdot f$

$= 2\pi \cdot 60\ Hz$

$= 120\pi\ rad/s$

Laju perubahan kuat arus listriknya adalah:

$$\frac{di}{dt} = \frac{d}{dt}(3 \sin \omega)$$
$$= \frac{d}{dt} 3 \sin 120 \pi t$$
$$= 360 \pi \cos 120 \pi t$$

Ggl induksi diri maksimum adalah:

$$\varepsilon = -L \cdot \frac{di}{dt}$$
$$= -7 \cdot 360 \pi \cos 120 \pi t$$
$$= 2520 \pi \cos 120 \pi t$$

Ggl induksi diri maksimum dapat tercapai jika cos 120 π t = 1, maka dapat dihitung:

$$\varepsilon_{maks} = -2520 \pi \cdot 1$$
$$= 2520 \pi \text{ V}$$

8. Diketahui sebuah toroida mempunyai 1500 lilitan dengan jari-jarinya 0,6 m serta luas penampang lintangnya 3×10^{-4} m^2. Jika arus listrik yang mengalir pada kawat toroida berubah dari 3 A menjadi 6 A dalam waktu 2 detik, maka ggl induksi yang ditimbulkan toroida adalah ....

A. $33{,}75 \times 10^{-5}$ V
B. $30{,}85 \times 10^{-5}$ V
C. $29{,}75 \times 10^{-5}$ V
D. $33{,}75 \times 10^{-4}$ V
E. $30{,}85 \times 10^{-4}$ V

Jawaban: A

- Banyaknya lilitan toroida, N = 1500 lilitan
- Jari-jari toroida, r = 0,6 m
- Luas penampang lintang toroida, A = 3×10^{-4} m^2
- Perubahan arus yang mengalir pada kawat toroida, ΔI = 6 – 3 = 3 A
- Waktu, t = 2 detik

Induksi diri toroida adalah:

$$L = \frac{\mu_0 \cdot N^2 \cdot A}{\ell}, \text{ untuk toroida } \ell = 2\pi \cdot r, \text{ maka}$$

$$L = \frac{\mu_0 \cdot N^2 \cdot A}{2\pi \cdot r}$$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} \text{Wb/Am} \cdot 1500^2 \cdot 3 \times 10^{-4} \text{m}^2}{2\pi \cdot 0{,}6 \text{ m}}$$

$$= \frac{2 \times 10^{-7} \text{Wb/Am} \cdot 2{,}25 \times 10^6 \cdot 3 \times 10^{-4} \text{m}^2}{0{,}6 \text{ m}}$$

$$= \frac{13{,}5 \times 10^{-5} \text{Wbm/A}}{0{,}6 \text{ m}}$$

$$= 22{,}5 \text{ x } 10^{-5} \text{ H}$$

Ggl induksi yang ditimbulkan toroida adalah:

$$\varepsilon = -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$= -L \cdot \left(\frac{I_2 - I_1}{t_2 - t_1} \right)$$

$$= -22{,}5 \text{ x } 10^{-5} \text{ H} \cdot \left(\frac{6 \text{ A} - 3 \text{ A}}{2 \text{ s}} \right)$$

$$= -22{,}5 \text{ x } 10^{-5} \text{ H} \cdot \frac{3}{2} \text{A/s}$$

$$= 33{,}75 \text{ x } 10^{-5} \text{ V}$$

9. Sebuah solenoida terbuat dari kumparan kawat terdiri dari 100 lilitan. Panjang solenoida 50 cm dan luas penampangnya 20 cm^2. Jika kuat arus listrik yang mengalir melalui solenoida 4 A, maka rapat energi magnetik yang terjadi adalah . . .

A. 0,128 π J/m^3
B. 0,26 π J/m^3
C. 0,45 π J/m^3
D. 0,53 π J/m^3
E. 0,56 π J/m^3

Jawaban: A

- Banyaknya lilitan, N = 100 lilitan
- Panjang solenoida, ℓ = 50 cm = 0,5 m
- Luas penampang solenoida, A = 20 $cm^2 = 2 \times 10^{-3}\ m^2$
- Kuat arus listrik yang mengalir pada solenoida, I = 4 A

Rapat energi magnetiknya adalah:

$$W_m = \frac{B^2}{2\mu_0}$$

Karena kuat medan magnet solenoida $B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{\ell}$, maka:

$$W_m = \frac{\left(\frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{\ell}\right)^2}{2\mu_0}$$

$$= \frac{{\mu_0}^2 \left(\frac{N \cdot I}{\ell}\right)^2}{2\mu_0}$$

$$= \frac{\mu_0 \left(\frac{N \cdot I}{\ell}\right)^2}{2}$$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7}\ \text{Wb/Am}}{2}\left(\frac{100 \cdot 4\ \text{A}}{0{,}5\text{m}}\right)^2$$

$$= 2\pi \text{ x } 10^{-7}\ \text{Wb / Am}\left(\frac{400\text{A}}{0{,}5\text{m}}\right)^2$$

$$= 2\pi \times 10^{-7}\ \text{Wb/Am}\ (8 \times 10^2\ \text{A/m})^2$$

$$= 2\pi \times 10^{-7}\ \text{Wb/Am} \cdot 64 \times 10^4\ \text{A}^2/\text{m}^2$$

$$= 0{,}128\pi\ \text{J/m}^3$$

10. Sebuah generator armaturnya berbentuk bujur sangkar dengan sisi 4 cm dan terdiri atas 1000 lilitan. Jika armaturnya berada dalam medan magnet 0,6 T, frekuensi putarnya agar menimbulkan tegangan maksimum 40 V adalah. . . ($\pi = 3{,}14$)

A. 8,00 Hz
B. 7,65 Hz
C. 6,64 Hz
D. 5,05 Hz
E. 4,67 Hz

Jawaban: C

- Banyaknya lilitan = 1000 lilitan
- Kuat medan magnet = 0,6 T
- Tegangan maksimum generator = 40 V

Luas penampang armaturnya adalah:

$$\begin{aligned} A &= s \times s \\ &= 4 \times 4 \\ &= 16\ cm^2 \\ &= 16 \times 10^{-4}\ m^2 \end{aligned}$$

Frekuensi putarnya pada saat tegangan maksimum adalah:

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{\varepsilon}{N \cdot B \cdot A} \\ 2\pi f &= \frac{\varepsilon}{N \cdot B \cdot A} \\ f &= \frac{\varepsilon}{N \cdot B \cdot A \cdot 2\pi} \\ &= \frac{40}{1000 \cdot 0{,}6 \cdot 16 \times 10^{-4} \cdot 2 \cdot 3{,}14} \\ &= \frac{40}{6{,}03} \\ &= 6{,}64\ Hz \end{aligned}$$

LATIHAN SOAL 16

1. Sebuah penghantar berbentuk rangkaian tertutup bergerak tegak lurus dengan suatu medan magnetik. Besarnya GGL induksi yang timbul adalah . . .
   A. Berbanding lurus dengan panjang konduktor, kecepatan gerak penghantar, dan induksi magnetik
   B. Berbanding lurus dengan panjang gelombang penghantar medan magnetik
   C. Berbanding lurus dengan kecepatan gerak penghantar dan perbandingan terbalik dengan induksi magnetik
   D. Berbanding lurus dengan panjang penghantar dan induksi magnetik serta berbanding terbalik dengan kecepatan penghantar
   E. Berbanding lurus dengan kecepatan gerak penghantar, induksi magnetik serta berbanding terbalik dengan panjang kawat.

2. Di antara faktor – faktor berikut.
   1. Jumlah lilitan kumparan
   2. Laju perubahan medan magnetik
   3. Arah medan magnetik

   Yang dapat memperbesar GGL induksi adalah nomor . . .
   A. (1)
   B. (1) dan (2)
   C. (2)
   D. (2) dan (3)
   E. (3)

3. Sebuah trafo *step-up* mengubah tegangan 25 V menjadi 250 V. Jika efisiensi trafo 80% dan kumparan dihubungkan dengan lampu 250 V; 50 W, maka kuat arus dalam kumparan primernya adalah . . .
   A. 8 A
   B. 7,5 A
   C. 2,5 A
   D. 1 A
   E. 0,5 A

4. Kawat panjang l digerakkan dalam medan magnet homogen B dengan kecepatan v sehingga timbul GGL induksi = ε. Jika kuat medan magnet dan kecepatan dijadikan dua kali, maka GGL induksi yang timbul sekarang adalah . . .
   A. ½ ε
   B. ε
   C. 2 ε
   D. 4ε
   E. 8ε

5. Sebuah transformator yang efisiensinya 75 %, dihubungkan dengan tegangan primer 220 V dan menghasilkan tegangan sekunder 110 V. Jika arus pada kumparan sekunder sebesar 2 A, maka arus pada kumparan primer adalah . . .
   A. 0,75 A
   B. 0,80 A
   C. 1,00 A
   D. 1,20 A
   E. 1,33 A

6. Efisiensi sebuah transformator adalah 60 %. Hal ini berarti . . .
   A. Kuat arus pada kumparan primer berbanding kuat arus pada kumparan sekunder 5 : 3
   B. Tegangan pada kumparan primer berbanding tegangan pada kumparan sekunder 3 : 5
   C. Perbandingan jumlah lilitan pada kumparan primer dan pada kumparan sekunder 3 : 5
   D. Daya pada kumparan primer berbanding daya pada kumparan sekunder 5 : 3
   E. Hambatan pada kumparan primer berbanding hambatan pada kumparan sekunder 3 : 5

7. Sebuah alat elektronik dapat berfungsi jika disambungkan dengan tegangan 110 V, akan tetapi tegangan yang tersedia dari PLN 220 V. Kemudian tegangan dari PLN dihubungkan dengan trafo yang mempunyai lilitan primer 2000 lilitan, maka lilitan sekunder dari trafo adalah . . .
   A. 500 lilitan
   B. 800 lilitan
   C. 1000 lilitan
   D. 1100 lilitan
   E. 2200 lilitan

8. Suatu kumparan dengan 600 lilitan dan induktansi diri 40 mH mengalami perubahan arus listrik dari 10 A menjadi 4 A dalam waktu 0,1 detik. Beda potensial antara ujung-ujung kumparan yang diakibatkannya adalah . . .
   A. 1,8 V
   B. 2,4 V
   C. 4,8 V
   D. 10,8 V
   E. 14,4 V

9. *Arah arus induksi dalam suatu penghantar itu sedemikian sehingga menghasilkan medan magnetik yang melawan perubahan fluks magnetik yang menimbulkannya.* Pernyataan ini adalah . . .
   A. Hukum Lenz
   B. Hukum Faraday
   C. Hukum Ampere
   D. Hukum Biot–Savart
   E. Hukum Maxwell

10. Kuat arus listrik dalam suatu rangkaian tiba-tiba turun dari 10 A menjadi 2 A dalam waktu 0,1 detik. Selama peristiwa ini terjadi timbul GGL induksi sebesar 32 V dalam rangkaian. Induktansi rangkaian tersebut adalah . . .
   A. 0,32 H
   B. 0,40 H
   C. 2,50 H
   D. 32,0 H
   E. 40,0 H

11. Sebuah transformator step-up menaikkan tegangan dari 200 V menjadi 1000 V. jika daya keluarannya sebesar 20, efisiensi 80 %, da jumlah lilitan primer 400 lilitan maka . . .

(1) Kuat arus primer 0,08 A
(2) Kuat arus sekunder 0,02 A
(3) Daya masukan 16 W
(4) Jumlah lilitan sekunder 2000

Pernyataan yang benar adalah . . . .

A. (1), (2), dan (3)
B. (1) dan (3)
C. (2) dan (4)
D. (4)
E. (1), (2), (3), dan (4)

12. Kumparan K yang berbentuk lingkaran (luas = 200 cm^2, jumlah lilitan = 50, dan hambatan dalam = 10 Ω) diletakkan didekat dua kutub magnet batang. Dalam rangkaian tersebut, dipasang hambatan R = 10 Ω. Besar muatan listrik yang mengalir dalam rangkaian setelah kumparan tersebut tiba-tiba ditarik keluar dari daerah bermedan magnetik 50 mT diatas adalah sama dengan . . .

A. 7,5 mC
B. 5,0 mC
C. 3,5 mC
D. 2,5 mC
E. 1,5 mC

13. Sebuah kumparan terdiri atas 1.200 lilitan berada dalam medan magnetik. Jika pada kumparan terjadi perubahanfluks magnetik 2.10^3 Wb setiap detik, maka besarnya GGL induksi yang timbul pada ujung–ujung kumparan adalah . . .

A. 0,24 V
B. 1,0 V
C. 1,2 V
D. 2,0 V
E. 2,4 V

14. Sebuah kumparan dengan 1.200 lilitan dialiri arus 4 A, menimbulkan medan magnet dengan fluks magnetik 4.10^{-3} Weber. Jika kuat arusnya berubah rata–rata 2 A setiap detiiknya, maka GGL induksi pada ujung–ujung kumparan tersebut adalah . . .

A. 0,24 V
B. 1,0 V
C. 1,2 V
D. 2,4 V
E. 6,0 V

15. Sebuah toroida ideal, hampa, mempunyai 1000 lilitan dan jari-jari rata-ratanya 0,5 m. Kumparan yang terdiri atas 5 lilitan dililitkan pada toroida tersebut. Jika penampang lintang toroida 2 x 10^{-3} m^2 dan arus listrik pada kawat toroida berubah dari 7 A menjadi 9 A dalam satu detik, maka di dalam kumparan akan timbul GGL imbas sebesar . . .

A. 2 μV
B. 4 μV
C. 8 μV
D. 12 μV
E. 28 μV

16. Sebuah kumparan dengan 500 lilitan dan induktansi 5 mH dihubungkan dengan sumber tegangan arus searah. Jika kuat arus di dalam kumparan 5 A, maka besar fluks magnetik di dalam kumparan adalah . . .

A. 4.10^{-5} Wb
B. 5.10^{-5} Wb
C. 6.10^{-5} Wb
D. 7.10^{-5} Wb
E. 8.10^{-5} Wb

17. Sebuah kumparan terdiri atas 100 lilitan. Bentuk penampangnya empat persegi panjang dengan ukuran 8 cm x 5 cm. Kumparan berputar dengan frekuensi anguler 100 rad^{-1}, tegak lurus dengan magnet homogen. Induksi magnetik medan magnet = 2 tesla. Tegangan maksimum yang terjadi pada kumparan adalah . . .

A. 80 V
B. 100 V
C. 200 V
D. 420 V
E. 800 V

18. Perbandingan jumlah lilitan kawat pada kumparan primer dan sekunder sebuah transformator adalah 1 : 4. Tegangan dan kuat arus masukannya masing-masing 10V dan 2A. Jika daya rata-rata yang berubah menjadi kalor pada transformator tersebut adalah 4W dan tegangan keluarannya adalah 40V, maka kuat arus keluarannya bernilai . . .

A. 0,1 A
B. 0,4 A
C. 0,5 A
D. 0,6 A
E. 0,8 A

19. Sebuah transformator dengan tegangan primer 220 V, tegangan sekunder 22 V dan arus primer 0,1 A. Jika efisiensi transformator 60%, arus sekundernya adalah . . .

A. 0,06 A
B. 0,12 A
C. 0,60 A
D. 0,86 A
E. 1,20 A

20. Sebuah kawat tertutup berbentuk persegi dengan luas 0,02 m^2 diletakkan pada bidang datar. Medan magnet seragam diberikan pada bidang tersebut dengan arah menembus ke dalam bidang secara tegak lurus menjauhi pembaca. Medan magnet tersebut diturunkan dengan laju tetap 2×10^{-4} T/s. Jika hambatan kawat 0,1Ω, maka besar dan arah arus induksi yang timbul adalah . . .

A. 1×10^{-5} A berlawanan arah jarum jam
B. 1×10^{-5} A searah jarum jam
C. 2×10^{-5} A berlawanan arah ajrum jam
D. 4×10^{-5} A searah jarum jam
E. 4×10^{-5} A berlawanan arah jarum jam

21. Fluks magnetik pada kumparan berkurang 0,8 Wb menjadi 0,3 Wb dalam waktu 4 detik. Kumparan mempunyai 300 lilitan dengan hambatan 4 Ω. Kuat arus listrik yang mengalir melalui kumparan adalah . . .

A. 1,4 A
B. 5,0 A
C. 7,2 A
D. 8,4 A
E. 9,4 A

22. Data spesifik dua buah generator tertera dalam tabel di bawah ini :

Generator	Jumlah Lilitan Kumparan	Induksi magnetik
A	1200	5×10^{-2} T
B	6000	3×10^{-2} T

Jika kedua generator berputar dengan frekuensi yang sama, maka perbandingan ggl maksimum generator *A* dan *B* adalah . . .

A. 5 : 3
B. 5 : 1
C. 1 : 2
D. 1 : 3
E. 1 : 5

23. Sebuah kawat yang panjangnya 1,5 m bergerak tegak lurus pada medan magnetik dengan kecepatan 10 m/s, pada ujung-ujung kawat timbul beda potensial 1,8 V. Besar induksi magnetiknya adalah . . .
A. 0,012 T
B. 0,08 T
C. 0,12 T
D. 1,2 T
E. 12 T

24. Sebuah elektromotor digunakan untuk mengangkat beban bermassa 4 kg vertikal ke atas ($g = 9{,}8\ m/s^2$). Jika elektromotor bekerja pada tegangan 20 V, arus yang mengalir 3,92 A, dan dalam waktu 2 detik dapat mengangkat beban tersebut setinggi 2 m, efisiensi elektromotor tersebut adalah . . .
A. 40%
B. 50%
C. 60%
D. 90%
E. 75%

25. Suatu kumparan terdiri dari 200 lilitan berbentuk persegi panjang dengan panjang 10 cm dan lebar 5 cm. Kumparan ini bersumbu putar tegak lurus medan magnetik sebesar 0,5 Wb/m^2 dan diputar dengan kecepatan sudut 60 rad/s. Pada ujung kumparan tmbul GGL bolak-balik maksimum adalah . . .
A. 30 V
B. 60 V
C. 110 V
D. 220 V
E. 500 V

26. Sebuah magnet digerakkan menjauhi kumparan yang mempunyai 1000 lilitan. Fluks magnetik yang dilingkupi kumparan berkurang dari 16×10^{-5} Wb menjadi 7×10^{-5} Wb dalam waktu 0,5 s. Ggl induksi yang terjadi di ujung kumparan adalah . . .
A. $1{,}8 \times 10^{-2}$ V
B. 18×10^{-2} V
C. $3{,}2 \times 10^{-3}$ V
D. $1{,}8 \times 10^{-3}$ V
E. $3{,}2 \times 10^{-2}$ V

27. Sebuah penghantar memiliki panjang 30 cm bergerak dengan kecepatan 6 m/s dan arahnya tegak lurus di dalam medan magnet homogen 0,03 T. Beda tegangan yang dihasilkan ujung-ujung penghantar adalah . . .
    A. $5{,}4 \times 10^{-2}$ V
    B. $5{,}4 \times 10^{-3}$ V
    C. $5{,}4 \times 10^{-4}$ V
    D. $3{,}2 \times 10^{-2}$ V
    E. $3{,}2 \times 10^{-3}$ V

28 Menaikkan ggl maksimum suatu generator ac agar menjadi 4 kali semula, dapat dilakukan dengan cara . . .
    A. Jumlah lilitan dilipat gandakan dan periode putar menjadi 1/2 kali mula-mula
    B. Kecepatan sudut dan luas penampang kumparan dijadikan 1/2 kalinya
    C. Induksi magnetik dan jumlah lilitan dijadikan 4 kali semula
    D. Luas penampang dan periode putar dijadikan 2 kali semula
    E. Penampang dan periode dijadikan 1/2 kali semula

29. Suatu benda yang mempunyai luas permukaan 150 cm^2 diletakkan dalam medan magnetik 0,6 T menghasilkan fluks magnetik 6 x 10^{-3} Wb. Berapakah sudut yang terbentuk antara benda dengan arah medan magnet . . .
    A. 12°
    B. 30°
    C. 36°
    D. 42°
    E. 63°

30. Sepuluh buah lampu 12 V/24 W terhubung pararel dengan kumparan sekunder suatu trafo *step down* dengan kumparan primernya terhubung dengan sumber daya PLN 240 V. Jika besar arus primer yang dapat diambil dari sumber daya PLN adalah 4/3 A, maka besar efisiensi trafo itu adalah . . .
    A. 7 %
    B. 38 %
    C. 53 %
    D. 75 %
    E. 90 %

Fisika (bahasa Yunani: fysikós, "alamiah" atau fýsis, "alam") adalah ilmu tentang alam dalam makna yang terluas.

ARUS DAN TEGANGAN LISTRIK BOLAK-BALIK

17

A. NILAI ARUS DAN TEGANGAN LISTRIK BOLAK-BALIK

Arus dan tegangan listrik bolak-balik dapat secara matematis dapat dirumuskan:

$$I_{(t)} = I_m \cdot \sin \omega t$$

dan

$$V_{(t)} = V_m \cdot \sin \omega t$$

dengan,

$I_{(t)}$ = kuat arus listrik yang mengalir (A)
I_m = kuat arus listrik maksimum (A)
$V_{(t)}$ = tegangan listrik (V)
V_m = tegangan listrik maksimum (V)
ω = frekuensi sudut (rad/s) = $2\pi f$
t = waktu (s)

B. ARUS DAN TEGANGAN EFEKTIF

Arus dan tegangan efektif adalah arus dan tegangan bolak-balik yang setara dengan arus searah yang dalam waktu bersamaan, jika mengalir dalam hambatan yang sama akan menghasilkan kalor

(panas) yang sama. Semua alat ukur listrik arus bolak-balik mengukur nilai efektifnya.

$$I_{eff} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \text{ dan } V_{eff} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

dengan,

I = kuat arus listrik efektif (A)
I_m = kuat arus listrik maksimum (A)
V = tegangan efektif (V)
V_m = tegangan maksimum (V)

C. NILAI RATA-RATA ARUS LISTRIK DAN TEGANGAN BOLAK-BALIK

Nilai rata-rata arus listrik bolak-balik adalah nilai arus listrik bolak-balik yang setara dengan arus listrik searah untuk memindahkan sejumlah muatan listrik yang sama dalam waktu dan penghantar yang sama.

$$I_r = \frac{2 \cdot I_m}{\pi} \text{ dan } V_r = \frac{2 \cdot V_m}{\pi}$$

dengan,

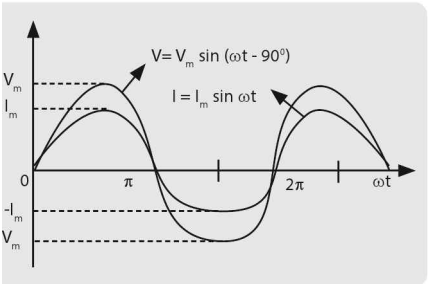
I_r = kuat arus listrik rata-rata (A)
V_r = tegangan rata-rata (V)

D. RANGKAIAN ARUS BOLAK-BALIK

a. Resistor pada Rangkaian Arus Bolak-balik

Rangkaian resistor pada rangkaian arus bolak-balik (AC) berfungsi sebagai pembatas arus listrik yang masuk atau menurunkan potensial listrik dalam rangkaian, Dengan demikian arus listrik dan

tegangan pada hambatan dengan arus dan tegangan pada sumber tidak mengalami perubahan beda fase. Seperti gambar berikut:



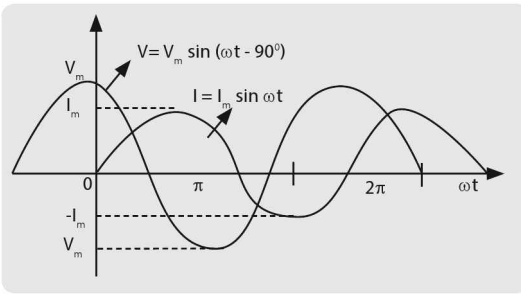
Kuat arus dan tegangan pada resistor arus bolak-balik dapat dirumuskan:

$I_{(t)} = I_m \cdot \sin \omega t$
$V_{(t)} = V_m \cdot \sin \omega t$
$V_m = I_m \cdot R$
$V = I \cdot R$

dengan,
I = kuat arus listrik (A)
I_m = kuat arus listrik maksimum (A)
V_t = tegangan (V)
V = tegangan maksimum (V)
R = hambatan pada rangkaian (Ω)
t = waktu (s)

b. Induktor pada Rangkaian Arus Bolak-balik

Pada rangkaian induktif, beda fase antara arus listrik dengan tegangan adalah $\frac{\pi}{2}$ atau 90°, fase tegangan mendahului fase arus listrik sebesar 90°, seperti gambar berikut:



Persamaan tegangan pada rangkaian induktif dirumuskan:
$V = V_m \cdot \sin(\omega t + 90°) \rightarrow$ V mendahului I sebesar 90°
Dan, persamaan arus pada rangkaian induktif dirumuskan:
$I = I_m \cdot \sin(\omega t + 90°) \rightarrow$ I terlambat terhadap V sebesar 90°

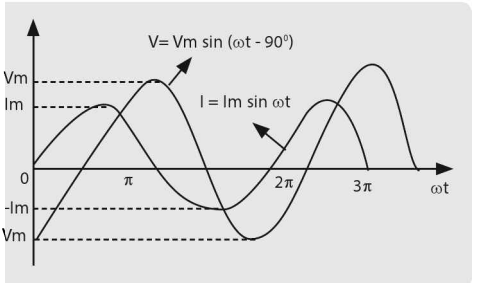
Hambatan dan tegangan pada rangkaian induktif yang dilalui arus bolak-balik (X_L) dapat dirumuskan:

$X_L = \omega \cdot L$
$= 2\pi \cdot f \cdot L$, dan
$V_m = X_L \cdot I_m$
$= \omega \cdot L \cdot I_m$
$= 2\pi \cdot f \cdot L \cdot I_m$

dengan,
X_L = reaktansi induktif (Ω)
ω = frekuensi angular (rad/s)
L = induktansi diri induktor (H/Henry)
f = frekuensi linear (Hz)
V_m = tegangan maksimum (V)
I_m = kuat arus listrik maksimum (A)

c. Kapasitor pada Rangkaian Arus Bolak-balik

Pada rangkaian kapasitif, beda fase antara arus listrik dengan tegangan adalah $\frac{\pi}{2}$ atau 90°, fase arus listrik mendahului fase tegangan sebesar 90°, seperti gambar berikut:



Persamaan tegangan pada rangkaian kapasitif dirumuskan:
$V = V_m \cdot \sin(\omega t + 90°) \rightarrow$ V terlambat dari I sebesar 90°
Dan, persamaan arus pada rangkaian kapasitif dirumuskan:
$I = I_m \cdot \sin(\omega t + 90°) \rightarrow$ I mendahului V sebesar 90°
Hambatan dan tegangan pada rangkaian kapasitif yang dilalui arus

bolak-balik (X_C) dapat dirumuskan:
dengan,

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot f}, \text{ dan}$$

$$V_m = X_C \cdot I_m = \frac{1}{\omega \cdot C} \cdot I_m = \frac{1}{2\pi \cdot f} \cdot I_m$$

X_C = reaktansi kapasitif (Ω)
ω = frekuensi angular (rad/s)
C = kapasitansi induktor (F/Farad)
f = frekuensi linear (Hz)
V_m = tegangan maksimum (V)
I_m = kuat arus listrik maksimum (A)

d. Rangkaian Seri antara R dan L

Jika rangkaian R dan L disusun secara seri dan dihubungkan dengan sumber tegangan arus bolak-balik (AC), maka berlaku rumus:

$$V = \sqrt{V_R^{\,2} + V_L^{\,2}}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^{\,2}}$$

$$V = I \cdot Z = I \cdot \sqrt{R^2 + X_L^{\,2}}$$

$$V = I_m \cdot Z \sin(\omega t - \theta) \text{ dan } \tan\theta = \frac{V_L}{V_R} = \frac{X_L}{R}$$

dengan,
V = tegangan pada rangkaian seri R dan L
ω = frekuensi angular (rad/s)
Z = impedansi atau hambatan total rangkaian (Ω)
t = waktu (s)
R = hambatan resistor (Ω)
X_L = reaktansi induktif (Ω)
θ = beda fase antara tegangan dan arus

e. Rangkaian Seri antara R dan C

Jika rangkaian R dan C disusun secara seri dan dihubungkan dengan sumber tegangan arus bolak-balik (AC), maka berlaku rumus:

$$V = \sqrt{V_R^{\,2} + V_C^{\,2}}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^{\,2}}$$

$$V = I \cdot Z = I \cdot \sqrt{R^2 + X_C^{\,2}}$$

$$V = I_m \cdot Z \sin(\omega t - \theta) \text{ dan } \tan\theta = \frac{V_C}{V_R} = \frac{X_C}{R}$$

dengan,

V = tegangan pada rangkaian seri R dan C
ω = frekuensi angular (rad/s)
Z = impedansi atau hambatan total rangkaian (Ω)
t = waktu (s)
R = hambatan resistor (Ω)
X_C = reaktansi kapasitif (Ω)
θ = beda fase antara tegangan dan arus

f. Rangkaian SERI R, L, BAN C

Jika rangkaian R, L, dan C disusun secara seri dan dihubungkan dengan sumber tegangan arus bolak-balik (AC), maka berlaku rumus:

$$V = \sqrt{V_R^{\,2} + (V_L - V_C)^2}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$V = I \cdot Z = I \cdot \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$\tan\theta = \frac{V_L - V_C}{V_R} = \frac{X_L - X_C}{R}$$

dengan,

V = tegangan pada rangkaian seri R dan C

X_L = reaktansi induktif (Ω)
Z = impedansi atau hambatan total rangkaian (Ω)
R = hambatan resistor (Ω)
ω = frekuensi angular (rad/s)
X_C = reaktansi kapasitif (Ω)
θ = beda fase antara tegangan dan arus
t = waktu (s)

1) Jika $X_L > X_C$, maka rangkaian seri R, L, dan C bersifat induktif, karena θ bernilai positif.
2) Jika $X_L < X_C$, maka rangkaian seri R, L, dan C bersifat kapasitif, karena θ bernilai negatif.
3) Jika $X_L = X_C$, maka rangkaian seri R, L, dan C bersifat resistif atau terjadi resonansi, nilai Z = R, serta $\theta = 0$.

Frekuensi dan kecepatan sudut resonansinya dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$f_r = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{L \cdot C}}$$

$$\omega_r = 2\pi \cdot f_r$$

$$= \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}}$$

dengan,
f_r = frekuensi resonansi (Hz)
L = induktansi induktor (H)
C = kapasitansi kapasitor (F)
ω_r = kecepatan sudut resonansi (rad/s)

E. DAYA PADA ARUS BOLAK-BALIK

Pada arus bolak-balik (AC), daya yang sebenarnya atau daya aktif secara matematis dapat dirumuskan:

$$P = V \cdot I \cdot \cos \theta$$

dengan,

P = daya pada arus bolak-balik (W)
V = tegangan arus bolak-balik (V)
I = kuat arus bolak-balik (A)
cos θ = faktor daya

CONTOH SOAL DAN PEMBAHASAN

1. Suatu sumber tegangan bolak-balik mempunyai tegangan sebagai fungsi waktu Vt = 50 $\sqrt{2}$ sin 80 t V. Besar tegangan pada saat t = 0,005 π adalah . . .

   A. 50 $\sqrt{2}$ volt
   B. 47,5 $\sqrt{2}$ volt
   C. 47,5 volt
   D. 4,75 $\sqrt{2}$ volt
   E. $\sqrt{2}$ volt

   Jawaban: B

   - Persamaan sumber tegangan, V = 50 $\sqrt{2}$ sin 80 t volt
   - Waktu, t = 0,005 π

   Besar tegangan pada t = 0,005 π adalah:

   $V = 50\sqrt{2} \sin 80\ t$
   $= 50\sqrt{2} \sin 80\ (0{,}005\ \pi)$
   $= 50\sqrt{2} \sin 0{,}4\ \pi$
   $= 50\sqrt{2} \sin 72°$
   $= 50\sqrt{2} \cdot 0{,}95$
   $= 47{,}5\sqrt{2}$ volt

2. Jika sebuah alternator menghasilkan ggl induksi sesaat 110 V dan induksi maksimum 220 V, maka posisi kumparan terhadap arah medan magnet pada saat itu adalah . . .

A. 0°
B. 30°
C. 45°
D. 60°
E. 90°

Jawaban: B

- Ggl induksi sesaat, V = 110 V
- Induksi maksimum, V_m = 220 V

$$\sin \omega t = \frac{V}{V_m}$$
$$= \frac{110\ V}{220\ V}$$
$$= 0{,}5$$

Posisi kumparan terhadap medan magnet adalah:
arc sin (0,5) = 30°

3. Suatu hambatan murni sebesar 60 W dihubungkan dengan suatu sumber tegangan AC. Ternyata amperemeter yang terpasang pada rangkaian tersebut menunjukkan 2 A. Tegangan maksimum dari sumber tagangan adalah . . .

A. 96,7 V
B. 147,8 V
C. 170,4 V
D. 220,4 V
E. 233,6 V

Jawaban: C

- Besar hambatan, R = 60 W
- Kuat arus pada rangkaian, I = 2 A

Arus maksimum yang mengalir:

$$I_m = I_{ef} \cdot \sqrt{2}$$
$$= 2\ A \cdot \sqrt{2}$$
$$= 2\ A \cdot 1{,}42$$
$$= 2{,}84\ A$$

Tegangan maksimum dari sumber tegangan adalah:

$$V_m = I_m \cdot R = 2{,}84\ A \cdot 60\ \Omega = 170{,}4\ V$$

4. Ggl induksi dalam solenoida adalah 43,8 V ketika terjadi perubahan arus 12,5 A dalam 0,1 detik. Reaktansi induktif dari solenoida ini bila dihubungkan dengan sumber arus $\frac{50}{\pi}$ Hz adalah . . .

A. $3504\ \pi\ \Omega$
B. $3504\ \Omega$
C. $35{,}04/\pi\ \Omega$
D. $35{,}04\ \pi\ \Omega$
E. $35{,}04\ \Omega$

Jawaban: E

- Ggl solenoida, $\varepsilon = 43{,}8$ V
- Kuat arus yang berubah, dI = 12,5 A
- Waktu, t = 0,1 s
- Frekuensi, $f = \frac{50}{\pi}$ Hz

Nilai induktansi solenoida adalah:

$$L = \frac{\varepsilon \cdot dt}{dI}$$
$$= \frac{43{,}8V \cdot 0{,}1\ s}{12{,}5\ A}$$
$$= 0{,}3504\ H$$

Reaktansi induktif solenoida adalah:

$$X_L = \omega \cdot L$$
$$= 2\pi \cdot f \cdot L$$
$$= 2\pi \cdot \frac{50}{\pi} \cdot 0{,}3504$$
$$= 100 \cdot 0{,}3504$$
$$= 35{,}04\ \Omega$$

5. Rangkaian seri R dan L masing-masing besar $R = 300\ \Omega$ dan L = 0,3 H rangkaian tersebut disambungkan dengan tegangan berfrekuensi $\frac{360}{\pi}$ Hz. Sudut fase yang terbentuk adalah . . . ($\pi = 3{,}14$)

A. 40°
B. 38°
C. 30°
D. 22°
E. 16°

Jawaban: B

- Besar hambatan, R = 300 Ω
- Induktansi induktor, L = 0,3 H
- Frekuensi tegangan, f = $\frac{360}{\pi}$ Hz

Reaktansi induktif induktor adalah:

$$X_L = \omega \cdot L$$
$$= 2\pi \cdot f \cdot L$$
$$= 2\pi \cdot \frac{360}{\pi} \text{ Hz} \cdot 0{,}3 \text{ H}$$
$$= 216\ \Omega$$

Sudut fase yang terbentuk antara tegangan dan kuat arus adalah:

$$\tan \theta = \frac{X_L}{R}$$
$$= \frac{216\ \Omega}{300\ \Omega}$$
$$= 0{,}72$$

arc tan (0,72) = 38°

6. Sebuah kumparan yang memiliki induktansi 30 mH dan hambatan 15 Ω, dihubungkan ke sebuah generator AC yang frekuensinya dapat diubah-ubah. Berapakah besar frekuensi sudut saat tegangan mendahului arus 30° . . .

A. $3{,}2 \times 10^{-3}$ rad/s
B. $3{,}2 \times 10^{-4}$ rad/s
C. $3{,}6 \times 10^{-3}$ rad/s
D. $3{,}4 \times 10^{-3}$ rad/s
E. $3{,}4 \times 10^{-4}$ rad/s

Jawaban: D

- Induktansi induktor, L = 30 mH = 0,03 H
- Besar hambatan, R = 15 Ω
- Sudut fase, θ = 30°

Frekuensi sudut saat sudut fase 30°adalah:

$$\tan \theta = \frac{X_L}{R} = \frac{\omega \cdot L}{R}$$

Besarnya frekuensi sudutnya adalah:

$$\omega = \frac{L}{R \cdot \tan\theta}$$
$$= \frac{0{,}03\ H}{15\ \Omega \cdot \tan 30^\circ}$$
$$= \frac{0{,}03\ H}{15\ \Omega \cdot 0{,}58}$$
$$= \frac{0{,}03H}{8{,}7\ \Omega}$$
$$= 3{,}4 \times 10^{-3}\ \text{rad/s}$$

7. Pada rangkaian AC terdapat hubungan seri antara hambatan 60 Ω dan kapasitor 42 μF, rangkaian tersebut dihubungkan dengan sumber tegangan 220 V sehingga dalam rangkaian mengalir arus 2,2 A. Besar frekuensi linear sumber tegangannya adalah . . . (π = 3,14)

A. $2{,}4 \times 10^3$ Hz
B. $2{,}0 \times 10^3$ Hz
C. $1{,}4 \times 10^3$ Hz
D. $1{,}0 \times 10^3$ Hz
E. $0{,}7 \times 10^3$ Hz

Jawaban: C

- Besar hambatan,R = 60 Ω
- Kapasitansi kapasitor, C = 42 μF = 42×10^{-6} F
- Besar sumber tegangan, V = 220 V
- Kuat arus listrik, I = 2,2 A

Impedansi rangkaian adalah:

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{220\ V}{2{,}2\ A} = 100\ \Omega$$

Frekuensi linear sumber tegangannya adalah:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C{}^2}$$
$$Z^2 = R^2 + X_C{}^2$$
$$X_C{}^2 = Z^2 - R^2$$

$$\left(\frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2 = Z^2 - R^2$$

$$\left(\frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}\right)^2 = Z^2 - R^2$$

$$f^2 = \frac{1}{4\pi^2 \cdot C^2 \cdot (Z^2 - R^2)}$$

$$= \frac{1}{4 \cdot 3{,}14^2 \cdot (42 \times 10^{-6}\ F)^2 \cdot (100^2 - 60^2)\Omega^2}$$

$$= \frac{1}{4 \cdot 9{,}86 \cdot 1{,}8 \times 10^{-9} F^2 \cdot 6{,}4 \times 10^3\ \Omega^2}$$

$$= \frac{1}{45{,}5 \times 10^{-8}}$$

$$= 2{,}2 \text{ x } 10^6\ Hz^2$$

$$f = \sqrt{2{,}2 \times 10^6\ Hz^2}$$

$$= 1{,}4 \text{ x } 10^3\ Hz$$

8. Sebuah sumber tegangan sinusoidal dengan tegangan maksimum 30 V dan frekuensi 50 Hz, dihubungkan ke ujung-ujung kapasitor. Jika arus maksimum 15,7 mA, maka kapasitas kapasitor adalah . . . (π = 3,14)

A. 0,6 μF
B. 0,9 μF
C. 1,2 μF
D. 1,8 μF
E. 2,0 μF

Jawaban: D

- Tegangan sinusoidal maksimum, $V_m = 30$ V
- Frekuensi, $f = 50$ Hz
- Kuat arus maksimum, $I_m = 15{,}7\ m_A = 15{,}7 \times 10^{-3}$ A

Reaktansi kapasitif kapasitor adalah:

$$X_C = \frac{V_m}{I_m} = \frac{30\ V}{15{,}7 \times 10^{-3}\ A} = 1{,}9 \times 10^3\ \Omega$$

Kapasitansi kapasitornya adalah:

$$C = \frac{1}{\omega \cdot X_C}$$
$$= \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot X_C}$$
$$= \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 50\ \text{Hz} \cdot 1{,}9 \times 10^3\ \Omega}$$
$$= \frac{1}{0{,}56 \times 10^6}$$
$$= 1{,}8 \times 10^{-6} = 1{,}8\ \mu\text{F}$$

9. Empat buah kapasitor masing-masing kapasitansinya 6 μF disusun secara paralel dan dialiri arus listrik 5 A serta disambungkan dengan sumber tegangan 50 Hz. Besar tegangan pada rangkaian tersebut adalah . . . ($\pi = 3{,}14$)

A. 658 V
B. 448 V
C. 320 V
D. 220 V
E. 200 V

Jawaban: A

- Kapasitansi kapasitor, $C = 6\ \mu\text{F} = 6 \times 10^{-6}$ F
- Besar arus listrik yang mengalir, I = 5 A
- Frekuensi sumber tegangan, f = 50 Hz

Kapasitansi empat kapasitor paralel adalah:

$$C_P = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$$
$$= (6 \times 10^{-6}\ \text{F}) + (6 \times 10^{-6}\ \text{F}) + (6 \times 10^{-6}\ \text{F}) + (6 \times 10^{-6}\ \text{F})$$
$$= 24 \times 10^{-6}\ \text{F}$$

Reaktansi kapasitif kapasitor adalah:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C_P}$$
$$= \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C_P}$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 50\ \text{Hz} \cdot 24 \times 10^{-6}\text{F}}$$

$$= \frac{1}{7{,}6 \times 10^{-3}}$$

$$= 131{,}6\ \Omega$$

Besar tegangan pada rangkaian kapasitor adalah:

$V = I \cdot X_C = 5\ \text{A} \cdot 131{,}6\ \Omega = 658\ \text{V}$

10. Diketahui bahwa arus listrik searah (DC) sebesar 3 A mengalir melewati suatu filamen pemanas mampu menghasilkan daya listrik sebesar W. jika arus bolak-balik (AC) diberikan nilai puncak 3 A juga maka daya listrik sekarang yang dibangkitkan filament adalah . . .

A. $\frac{1}{4}$ W
B. $\frac{1}{2}$ W
C. 2 W
D. 4 W
E. 12 W

Jawaban: B

- Kuat arus listrik searah (DC) = 3 A
- Kuat arus listrik bolak-balik (AC) = 3 A

Kuat arus listrik efektif pada rangkaian adalah:

$$L_{ef} = \frac{3}{\sqrt{2}}\text{A}$$

Daya listrik yang dibangkitkan filamen adalah:

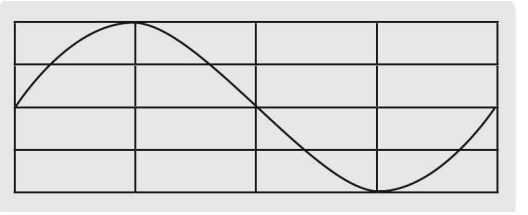
$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{I_{ef2}}{I_{ef1}}\right)^2$$

$$\frac{P_2}{W} = \left(\frac{\frac{3}{\sqrt{2}}}{3}\right)^2 = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2 = \frac{1}{2}$$

$$P_2 = \frac{1}{2}W$$

LATIHAN SOAL 17

1. Gambar ini menunjukkan suatu sumber tegangan bolak-balik dihubungkan dengan osiloskop. Dengan mengatur tombol skala vertikal pada angka 2 V/cm dan tombol sweep time 5 ms/cm, maka diperoleh pola gambar seperti berikut.



Dari pola tersebut diinterpretasikan bahwa . . .

A. Tegangan efektifnya 1 V dan frekuensinya 20 Hz

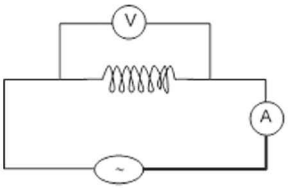
B. Tegangan efektifnya $\sqrt{2}$ V dan frekuensinya 40 Hz

C. Tegangan efektifnya $\frac{2}{\sqrt{2}}$ V dan frekuensinya 50 Hz

D. Tegangan efektifnya 2 V dan frekuensinya 50 Hz

E. Tegangan efektifnya $\frac{4}{\sqrt{2}}$ V dan frekuensinya 50 Hz

2. Pengukuran sebuah induktor dengan ohmmeter menunjukkan 30 ohm. Jika dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik (lihat gambar) diperoleh data sebagai berikut.

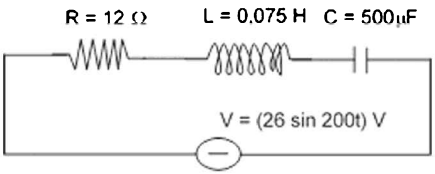


- Amperemeter menunjukkan = 2,4 A
- Voltmeter menunjukkan = 120 V

Berdasarkan data di atas, besar reaktansi induktifnya adalah . . .

A. 20 ohm
B. 30 ohm
C. 40 ohm
D. 50 ohm
E. 60 ohm

3. Perhatikan diagram rangkaian R-L-C berikut ini!



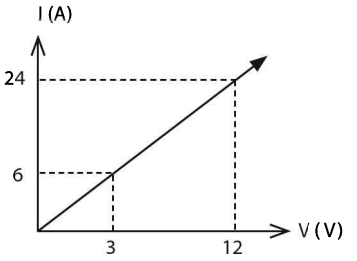
Jika 1 μF = 10^{-6} F, maka kuat arus maksimum dari rangkaian tersebut adalah . . .

A. 1,3 A
B. 1,5 A
C. 2,0 A
D. 2,4 A
E. $2\sqrt{2}$ A

4. Besar reaktansi induktif suatu induktor yang mempunyai induktansi *L* dalam arus bolak-balik tergantung pada . . .

A. Kuat arus
B. Frekuensi arus
C. Tegangan listrik
D. Tebal kawat induktor
E. Bahan induktor

5. Hubungan antara kuat arus (I) dan tegangan (V) pada ujung-ujung resistor diperlihatkan pada gambar berikut.



Besar hambatan resistor adalah . . .

A. 0,5 ohm
B. 5 ohm
C. 24 ohm
D. 288 ohm
E. 500 ohm

6. Arus listrik PLN yang sampai ke rumah – rumah mempunyai tegangan 220 V. Tegangan tersebut adalah . . .
   A. Tegangan maksimum
   B. Tegangan efektif
   C. Tegangan rata-rata
   D. Tegangan minimum
   E. Tegangan puncak ke puncak

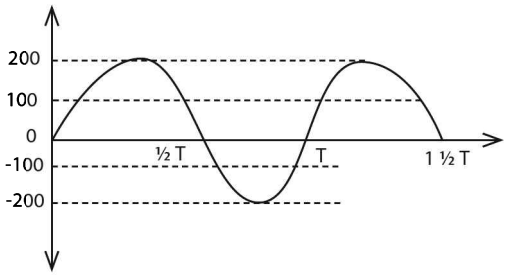
7. Rangkaian resistor pada tegangan bolak-balik menghasilkan beda fase antara arus dan tegangan sebagai . . .
   A. Arus terlambat 90° terhadap tegangan
   B. Arus mendahului 90° terhadap tegangan
   C. Arus dan tegangan berbeda fase 0°
   D. Arus mendahui 180° terhadap tegangan
   E. Arus terlambat 180° terhadap tegangan

8. Sebuah rangkaian terdiri dari hambatan R = 60 ohm, hambatan induktor = 120 ohm, hambatan kapasitor = 40 ohm. Dari rangkaian tersebut terukur tegangan pada osiloskop sebesar 200 V. Berapakah arus yang terukur. . .
   A. 3,0 A
   B. 2,5 A
   C. 1,0 A
   D. 2,0 A
   E. 4,0 A

9. Jarum suatu Voltmeter yang dipergunakan untuk mengukur sebuah tegangan bolak – balik menunjukkan harga 110 V. Ini berarti bahwa tegangan itu . . .
   A. Tetap
   B. Bberubah antara 0 dan 110 V
   C. Berubah antara 0 dan $110\sqrt{2}$ V
   D. Berubah antara – 110 V dan + 110 V
   E. Berubah antara – 110 $\sqrt{2}$ V dan + 110 $\sqrt{2}$

10. Suatu sumber tegangan AC dihubungkan pada induktor murni dan timbul reaktansi induktif 30 ohm. Jika persamaan tegangan pada ujung-ujung induktor V = 120 sin 60t, persamaan arusnya adalah . . .
   A. I = 0,25 sin (60t + 90°)
   B. I = 0,25 sin (60t – 90°)
   C. I = 4 sin (60t + 90°)
   D. I = 4 sin (60t – 90°)
   E. I = 4 sin 2t

11. Perhatikan grafik berikut!



Pada grafik tersebut tegangan bolak-balik terhadap waktu tersebut menyatakan bahwa . . .

   A. Vmaks = $200\sqrt{2}$ V
   B. Vmaks = $\frac{200}{\sqrt{2}}$ V
   C. Vmaks = $100\sqrt{2}$ V
   D. Vmaks = 100 V
   E. Vmaks = $\frac{100}{\sqrt{2}}$ V

12. Reaktansi kapasitif sebuah kapasitor pada frekuensi 50 Hz adalah 200 ohm. Nilai kapasitas kapasitor adalah . . .

A. $\frac{5.10^{-4}}{\pi}$F

B. $\frac{5.10^{-5}}{\pi}$F

C. $\frac{2.10^{-4}}{\pi}$F

D. $\frac{2.10^{-4}}{\pi}$F

E. $\frac{2.10^{-5}}{\pi}$F

13. Rangkaian seri R, L, dan C yang besarnya R = 80 Ω, X_L = 75 Ω, dan X_C = 115 Ω dihubungkan dengan sumber tegangan yang tegangan efektifnya 220 V. Daya yang sebenarnya pada rangkaian adalah . . .
    A. 442,3 W
    B. 44,3 W
    C. 4,43 W
    D. 0,44 W
    E. 0,04 W

14. Diketahui bahwa arus listrik searah (DC) sebesar 3 A yang mengalir melewati suatu filamen pemanas mampu menghasilkan daya listrik sebesar W. Jika pemanas dialiri arus bolak-balik (AC) dengan nilai puncak 3 A, maka besar daya listrik sekarang yang dibangkitkan filamen adalah . . .
    A. $\frac{1}{4}$ W
    B. $\frac{1}{2}$ W
    C. 2 W
    D. 4 W
    E. 12 W

15. Pernyataan yang benar tentang terjadinya resonansi seri pada rangkaian seri pada rangkaian *R, L* dan *C* adalah . . .
    A. Reaktansi induktif rangkaian < reaktansi kapasitifnya
    B. Reaktansi induktif rangkaian > reaktansi kapasitifnya
    C. Reaktansi induktif rangkaian = reaktansi kapasitifnya
    D. Impedansi rangkaian = reaktansi kapasitifnya
    E. Impedansi rangkaian < nilai hambatan R

16. Di antara ketentuan berikut ini:
    (1) Impedansinya mencapai keadaan maksimum.
    (2) Arusnya mencapai keadaan maksimum
    (3) Reaktansi induktif = reaktansi kapasitif

Pada saat rangkaian $R - L - C$ seri memiliki frekuensi resonansi, pernyataan yang benar adalah. . .

A. (1) saja
B. (1) dan (2)
C. (1), (2) dan (3)
D. (2) dan (3)
E. (3) saja

17. Hambatan R , induktor L, dan kapasitor C mempunyai nilai masing-masing 300 ohm, 0,9 H dan 2 μF. Ketiga komponen listrik tersebut dihubungkan seri dan diberi tegangan efektif AC sebesar 50 V sedangkan frekuensi sudut AC 1000 rad/s. Impedansi rangkaian adalah . . .

A. 250 Ω
B. 300 Ω
C. 400 Ω
D. 450 Ω
E. 500 Ω

18. Sebuah hambatan murni 8 ohm dirangkai seri dengan kumparan yang mempunyai induktansi diri 0,05/π H. Kemudian kedua ujung rangkaian dihubungkan dengan sumber tegangan AC 24 V – 60 Hz. Kuat arus yang mengalir pada rangkaian tersebut adalah . . . .

A. 3,6 A
B. 3,0 A
C. 2,4 A
D. 1,2 A
E. 0,6 A

19. Sebuah kapasitor 100 μ F dihubungkan ke sumber tegangan bolak – balik (120 V; 50 Hz). Kuat arus yang mengalir pada rangkaian adalah . . .

A. $\frac{1,2}{\pi}$ A
B. 1,2 A
C. 1,2 π A
D. $\frac{100}{\pi}$ A
E. 100 π

20. Perhatikan pernyataan berikut.
    (1) Mudah menghantarkan arus frekuensi rendah.
    (2) Mampu mengubah energi listrik menjadi medan magnet.
    (3) Tidak dapat dilewati arus searah.

Di antara ketentuan yang berkaitan dengan sifat induktor di atas yang benar adalah pernyataan nomor . . .

A. (1)
B. (1) dan (2)
C. (2)
D. (2) dan (3)
E. (3)

21. Suatu rangkaian R-L-C memiliki hambatan R = 200 ohm, induktansi diri L = 0,2 H kapasitansi $C = 2 \times 10^{-6}$ F dan kecepatan anguler 60 rad/s dan tegangan $V = 50\sqrt{2}$ sin 60t V, maka arus efektif yang mengalir pada rangkaian adalah . . .

A. 0,059 A
B. 0,59 A
C. 5,90 A
D. 6,76 A
E. 1,33 A

22. Suatu rangkaian seri R–L–C dipasang pada tegangan listrik bolak – balik yang nilai efektifnya 100V dan frekuensinya 60 Hz. Jika R = 10 ohm, L = 26,5 mH dan C = 106 μ F maka beda potensial (tegangan) dalam V antara ujung – ujung induktor adalah . . .

A. 5,56 V
B. 55,6 V
C. 100 V
D. 556 V
E. 756 V

23. Sebuah resistor *R* dan sebuah kumparan *L* dihubungkan seri pada sumber tegangan bolak – balik 100 V. Tegangan antara kedua ujung kumparan dan resistor sama besar. Tegangan tersebut adalah . . .

A. $25\sqrt{2}$ V
B. 50 V
C. $50\sqrt{2}$ V
D. $60\sqrt{2}$ V
E. 75 V

24. Suatu hambatan $10\sqrt{11}$ ohm dirangkaikan seri dengan induktor 1,25 H kemudian dihubungkan pada sumber tegangan beramplitudo 120 V yang berfrekuensi 40 rad/s. Arus listrik yang timbul dalam rangkaian amplitudo adalah . . .

A. 96 A
B. 40 A
C. 3 A
D. 2,4 A
E. 2,0 A

25. Untuk menaikkan reaktansi induktif suatu induktor dapat dilakukan dengan cara menaikkan....
    A. Kuat arus efektif
    B. Tegangan efektif
    C. Tegangan maksimum
    D. Kuat arus maksimum
    E. Frekuensi arus bolak-balik

26. Jika sumber tegangan AC dihubungkan dengan rangkaian seri hambatan 90 ohm, reaktansi kapasitif 50 ohm dan reaktansi induktif 20 ohm, maka nilai tangen dari fase arus terhadap tegangan adalah . . . .
    A. 0,94
    B. 0,68
    C. 0,51
    D. 0,33
    E. 0,17

27. Tegangan suatu penghantar diukur dengan osiloskop menunjukkan 141,4 V. Tegangan penghantar tersebut jika diukur dengan Voltmeter AC adalah . . . .
    A. 198,8 V
    B. 141,4 V
    C. 100,0 V
    D. 90,70 V
    E. 760,7 V

28. Sebuah induktor dan kapasitor masing-masing dengan induktansi 20 μH dan kapasitansi 4 F dihubungkan secara seri dengan generator 60 Hz, 120 V AC. Besarnya tegangan di ujung-ujung induktor 20 μH adalah . . .
    A. 108 V
    B. 132 V
    C. 136 V
    D. 144 V
    E. 160 V

29. Rangkaian L-C memiliki nilai induktansi diri sebesar 1 H dan kapasitansi sebesar 10^{-6} F. Besarnya frekuensi resonansi rangkaian tersebut adalah . . .
    A. 500/π Hz
    B. 200 π Hz
    C. π/500 Hz
    D. 200/π Hz
    E. 300 π Hz

30. Sebuah hambatan R = 6 ohm, induktor L = 0,1 H dan kapasitor C = 1/2400 F dihubungkan dengan tegangan bolak-balik yang kecepatan angulernya 200 rad/s. Impedansi rangkaian ini adalah . . . .

A. 4 ohm
B. 10 ohm
C. 14 ohm
D. 100 ohm
E. 1.124 ohm

Fisika (bahasa Yunani: fysikós, "alamiah" atau fýsis, "alam") adalah ilmu tentang alam dalam makna yang terluas.

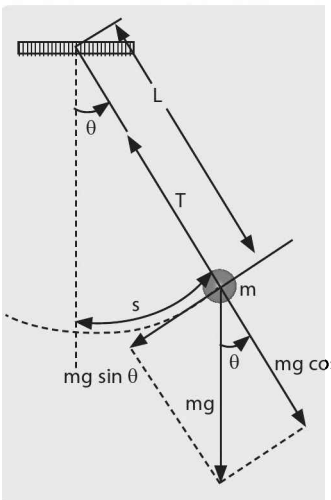
GETARAN 18

A. GETARAN HARMONIK SEDERHANA

Getaran harmonik sederhana adalah suatu getaran di mana resultan gaya yang bekerja pada titik sembarang selalu mengarah ke titik keseimbangan, dan resultan gaya sebanding dengan jarak titik sembarang ke titik keseimbangan tersebut.

a. Getaran pada Bandul Sederhana

Perhatikan gambar berikut!



Gaya pemulih pada ayunan bandul sederhana adalah:

$F = -mg \sin \theta$

Bila sudut θ kecil, $\sin \theta \approx \theta = \frac{s}{L}$, dan dari hukum II Newton, diperoleh:

$$m \frac{d^2s}{dt^2} = -mg \frac{s}{L}$$

$$\frac{d^2s}{dt^2} = -\frac{g}{L} s \Rightarrow$$

$$\text{jika}: \omega^2 = \frac{g}{L} \Leftrightarrow \omega = \sqrt{\frac{g}{L}}.$$

Karena $\omega = \frac{2\pi}{T}$, maka periode getaran pada bandul sederhana adalah:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

dengan,

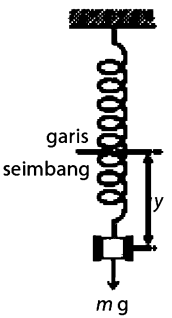
T = periode bandul (s)

L = panjang tali (m)

g = percepatan gravitasi (m/s^2).

h. Getaran pada Sistem Pegas-Massa

Perhatikan gambar berikut!



Gaya pemulih pada sistem pegas massa adalah:

$$F = -k\,y$$

Dari hukum II Newton, diperoleh:

$$m\frac{d^2y}{dt^2} = -k\,y$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\frac{k}{m}y \Rightarrow \text{jika}: \omega^2 = \frac{k}{m} \Leftrightarrow \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

Karena $\omega = \frac{2\pi}{T}$, maka periode getaran pada sistem pegas-massa adalah:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

dengan,

T = periode (s)

m = massa beban (kg)

k = konstanta pegas (N/m).

B. PERSAMAAN GETARAN HARMONIK SEDERHANA

Getaran pada sistem bandul sederhana dan sistem pegas menghasilkan persamaan gerak identik, yaitu:

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \omega t + 0$$

Persamaan di atas mempunyai penyelesaian:

$$y(t) = A \sin(\omega t + \theta_0)$$

dengan,

y = simpangan getaran pada saat t tertentu (m)
A = amplitudo getaran/simpangan maksimum (m)
ω = $2\pi/T$ = kecepatan sudut getaran (rad/s)
t = selang waktu yang dibutuhkan untuk bergetar (s)
θ_0 = sudut fase awal getaran (rad)

Kecepatan getaran harmonik sederhana adalah turunan pertama simpangan getaran terhadap waktu, sehingga diperoleh:

$$v(t) = \frac{dy(t)}{dt} = \omega A \cos(\omega t + \theta_0)$$

Percepatan getaran merupakan turunan kedua simpangan getaran terhadap waktu, sehingga diperoleh:

$$a(t) = \frac{d^2y(t)}{dt^2} = \frac{dv(t)}{dt} = -\omega^2 A \sin(\omega t + \theta_0) = -\omega^2 y$$

C. ENERGI GETARAN HARMONIK SEDERHANA

Jika benda bermassa m dan bergerak dengan kecepatan v, maka energi kinetik yang dimiliki oleh benda adalah: $E_k = ½ mv^2$. Kecepatan yang dimiliki oleh getaran harmonik sederhana adalah $v_y = A \omega \cos(\omega t + \theta_0)$. Dengan demikian energi kinetik getaran harmonik dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$Ek = \frac{1}{2} m\omega^2 A^2 \cos^2(\omega t + \theta_0), \text{karena } k = m\omega^2$$

$$Ek = \frac{1}{2} kA^2 \cos^2(\omega t + \theta_0)$$

$$Ek = \frac{1}{2} k\left(A^2 - y^2\right)$$

dengan,
Ep = energi potensial (J)
k = tetapan pegas (N/m)
y = pertambahan panjang pegas (m)
w = laju sudut (rad/s)
A = amplitudo (m)

Energi potensial getaran harmonik sederhana di setiap titik simpangannya dinyatakan sebagai berikut.

$$Ep = \frac{1}{2} ky^2$$

$$Ep = \frac{1}{2} kA^2 \sin^2\left(\omega t + \theta_0\right)$$

Energi total atau energi mekanik getaran harmonik sederhana adalah penjumlahan energi kinetik dan energi potensial, yaitu:

$$Em = Ek + Ep$$

$$Em = \frac{1}{2} k\left(A^2 - y^2\right) + \frac{1}{2} ky^2$$

$$Em = \frac{1}{2} kA^2$$

$$Em = \frac{1}{2} m\omega^2 A^2$$

dengan,
Ek = energi kinetik (J)

D. SUPERPOSISI DUA GETARAN SEARAH BERFREKUENSI SAMA

Superposisi getaran adalah suatu proses di mana dua getaran atau lebih digabungkan atau dijumlahkan untuk memperoleh gelombang yang padu.

Jika:

$y_1 = A_1 \sin(\omega t + \theta_1)$

$y_2 = A_2 \sin(\omega t + \theta_2)$

maka hasil superposisi dua getaran tersebut dapat dinyatakan:

$$y = y_1 + y_2 = A \sin(\omega t + \theta)$$

dengan,

$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\theta_2 - \theta_1)}$ = amplitudo getaran hasil superposisi; dan

$\theta = \arctan\left(\frac{A_1\sin\theta_1 + A_2\sin\theta_2}{A_1\cos\theta_1 + A_2\cos\theta_2}\right)$ = fase getaran hasil superposisi

CONTOH SOAL DAN PEMBAHASAN

1. Suatu ayunan bandul sederhana menggunakan tali yang panjangnya (1/16) m mempunyai periode (1/2) detik. Jika nilai $\pi^2 = 10$, maka percepatan gravitasi ditempat tersebut adalah . . .

   A. 9,4 m/s^2
   B. 9,6 m/s^2
   C. 9,8 m/s^2
   D. 10 m/s^2
   E. 10,2 m/s^2

   Jawaban: D

   • panjang tali bandul sederhana, L = 1/16 m
   • periode bandul sederhana, T = ½ detik
   • nilai $\pi^2 = 10$

   Percepatan gravitasi di tempat tersebut adalah:

   $$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$$
$$= \frac{4(10)(1/16m)}{(1/2s)^2}$$
$$= 10\ m/s^2.$$

2. Sebuah pegas yang panjangnya 20 cm digantungkan vertikal. Kemudian ujung bawahnya diberi beban 200 gram sehingga panjangnya bertambah 10 cm. Beban ditarik 5 cm ke bawah kemudian dilepas sehingga beban bergetar harmonik. Jika g = 10 m/s^2, maka frekuensi getaran adalah . . .

A. 0,5 Hz
B. 1,6 Hz
C. 5,0 Hz
D. 18,8 Hz
E. 62,8 Hz

Jawaban: B

- panjang pegas tanpa beban, y_1 = 20 cm = 0,2 m
- massa beban pada ujung bawah pegas, m = 200 g = 0,2 kg
- pertambahan panjang pegas dengan beban, Δy = 10 cm = 0,1 m
- simpangan pada sistem pegas-massa, y = 5 cm
- percepatan gravitasi, g = 10 m/s^2.

Konstanta pegas adalah:

$$k = \frac{F}{\Delta y}$$
$$= \frac{mg}{\Delta y}$$
$$= \frac{(0,2kg)(10m/s^2)}{0,1m}$$
$$= 20\ N/m$$

Frekuensi getaran sistem pegas-massa adalah:

$$k = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$= \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{20\text{N/m}}{0{,}2\text{kg}}}$$

$$= \frac{10}{2\pi}\ \text{Hz}$$

$$= 1{,}6\ \text{Hz}$$

3. Sebuah benda diikat pada ujung suatu pegas dan digetarkan harmonik dengan amplitudo A, konstanta pegas k. Pada simpangan benda 0,5A energi kinetik benda sebesar . . .

A. $\frac{1}{8}kA^2$
B. $\frac{1}{4}kA^2$
C. $\frac{3}{8}kA^2$
D. $\frac{1}{2}kA^2$
E. $\frac{3}{4}kA^2$

Jawaban: C

- simpangan maksimum/amplitudo getaran harmonik, $y_m = A$
- konstanta pegas = k
- simpangan benda pada saat t, y (t) = 0,5 A

$y = A \sin(\omega t + \theta_0)$, untuk y(t) = 0,5 A, diperoleh:
$0{,}5\ A = A \sin(\omega t + \theta_0)$
$\sin(\omega t + \theta_0) = 0{,}5$
$\sin(\omega t + \theta_0) = \sin 30°$
$(\omega t + \theta_0) = 30°$.

Energi kinetik benda saat simpangan 0,5 A adalah:

$$Ek = \frac{1}{2}kA^2\cos^2(\omega t + \theta_0)$$

$$= \frac{1}{2}kA^2\cos^2(30^0)$$

$$= \frac{1}{2}kA^2\left(\tfrac{1}{2}\sqrt{3}\right)^2$$

$$= \frac{3}{8}kA^2$$

4. Sebuah partikel bergerak harmonik sederhana dengan amplitudo 13 cm dan periode 0,1π detik. Kecepatan partikel pada simpangan 5 cm adalah . . .

A. 2,4 m/s
B. 2,4π m/s
C. 2,4π^2 m/s
D. 24 m/s
E. 240 m/s

Jawaban: A

- amplitudo getaran selaras, A = 13 cm
- periode getaran, T = 0,1π s $\rightarrow$ f = 1/T = 10/π Hz
- simpangan getaran saat t, y(t) = 5 cm

Jika: y = A sin (ωt + θ_0), maka kecepatan partikel yang bergetar dinyatakan:

$$
\begin{aligned}
v &= \omega\ A\cos\left(\omega t+\theta_0\right)\\
&= \omega\sqrt{A^2\cos^2\left(\omega t+\theta_0\right)}\\
&= \omega\sqrt{A^2\left(1-\sin^2(\omega t+\theta_0)\right)}\\
&= \omega\sqrt{A^2-y^2}\\
&= 2\pi f\sqrt{A^2-y^2} \rightarrow A=13\,\text{cm dan } y=5\,\text{cm}\\
&= 2\pi\left(\frac{10}{\pi}s^{-1}\right)\sqrt{\left(13\times10^{-2}m\right)^2-\left(5\times10^{-2}m\right)^2}\\
&= (20\,s^{-1})(12\,x\,10^{-2}\,m)\\
&= 2{,}4\ m/s
\end{aligned}
$$

5. Sebuah benda melakukan getaran harmonik dengan amplitudo A. Pada saat kecepatannya sama dengan setengah kecepatan maksimum, maka simpangannya . . .

A. nol
B. 0,5A
C. 0,64A
D. 0,87A
E. A

Jawaban: D

- amplitudo getaran harmonik = A
- kecepatan benda yang mengalami ghs, $v = \frac{1}{2} v_m$

$v = \omega A \cos(\omega t + \theta_0) \rightarrow$ mencapai maksimum syaratnya

$\cos(\omega t + \theta_0) = 1$

$v_m = \omega A$

Untuk $v = \frac{1}{2} v_m$, maka diperoleh:

$v = \omega A \cos(\omega t + \theta_0)$

$\frac{1}{2} v_m = \omega A \cos(\omega t + \theta_0)$

$\frac{1}{2} \omega A = \omega A \cos(\omega t + \theta_0)$

$\cos(\omega t + \theta_0) = \frac{1}{2}$

$(\omega t + \theta_0) = 60°$

Simpangan benda saat kecepatannya setengah kecepatan maksimum adalah:

$y = A \sin(\omega t + \theta_0)$

$= A \sin 60°$

$= A (0{,}87)$

$= 0{,}87 A$

6. Sebuah pegas tergantung tanpa beban panjangnya 30 cm. Kemudian ujung bawah pegas tersebut digantung beban 100 gram sehingga panjang pegas menjadi 35 cm. Jika beban tersebut ditarik ke bawah sejauh 5 cm, dan percepatan gravitasi bumi 10 m/s^2, maka energi potensial elastik pegas adalah . . .

A. 0,025 joule
B. 0,05 joule
C. 0,1 joule
D. 0,25 joule
E. 0,5 joule

Jawaban: A

- panjang pegas tanpa beban, $y_1 = 30$ cm $= 0{,}3$ m
- beban yang tergantung pada ujung bawah pegas, m = 100 g = 0,1 kg
- panjang pegas setelah diberi beban, $y_2 = 35$ cm $= 0{,}35$ m
- percepatan gravitasi, g = 10 m/s^2
- simpangan massa-pegas, y = 5 cm = 0,05 m

Besar konstanta pegas adalah:

$$k = \frac{F}{\Delta y}$$
$$= \frac{mg}{\Delta y}$$
$$= \frac{(0{,}1\text{kg})(10\,\text{m/s}^2)}{(0{,}35\text{m} - 0{,}30\text{m})}$$
$$= 20\ \text{N/m}.$$

Energi potensial elastik pegas tersebut adalah:

$Ep = ½\ k\ y^2$
$= ½\ (20\ \text{N/m})\ (0{,}05\ \text{m})^2$
$= (10\ \text{N/m})(0{,}0025\ \text{m}^2)$
$= 0{,}025\ \text{Nm} = 0{,}025$ joule.

7. Sebuah benda mengalami getaran selaran dengan amplitudo 40 cm. Jika tenaga potensial pada simpangan terjauh 10 J, maka tenaga potensial pada simpangan 20 cm adalah . . .

A. 0,5 J
B. 2,0 J
C. 2,5 J
D. 4,0 J
E. 10,0 J

Jawaban: C

- amplitudo getaran, A = 40 cm = 0,4 m
- energi potensial saat simpangan maksimum, Ep_m = 10 J
- simpangan getaran, y = ½ A = 20 cm = 0,2 m.

Energi potensial pegas maksimum dinyatakan: $Epm = ½\ kA^2$, maka energi potensial pegas saat simpangannya 20 cm adalah:

$$Ep = \left(\frac{\frac{1}{2}ky^2}{\frac{1}{2}kA^2}\right) \times Ep_m$$
$$= \left(\frac{\frac{1}{2}ky^2}{\frac{1}{2}kA^2}\right) \times Ep_m$$
$$= \frac{1}{4} \times Ep_m$$

$$= \frac{1}{4} \times (10\,J)$$
$$= 2{,}5\ J$$

8. Sebuah benda bergetar harmonik sederhana dengan simpangan terbesar 6 cm dan frekuensi 25 Hz. Besar simpangan pada saat 1/3 detik adalah . . .

A. 5,50 cm
B. 4,75 cm
C. 3,25 cm
D. 3,00 cm
E. 2,45 cm

Jawaban: B

• amplitudo getaran, A = 6 cm
• frekuensi getaran, f = 25 Hz

Besar simpangan pada saat 1/3 detik adalah:

$y = A \sin \omega t$
$= A \sin 2\pi ft$
$= (6\text{ cm}) \sin(2\pi \times 25 \times 1/3)$
$= (6\text{ cm}) \sin 52{,}4°$
$= (6\text{ cm})\ (0{,}792)$
$= 4{,}75\text{ cm}.$

9. Sebuah benda massanya 100 gram digantung pada seutas tali, kemudian diayun. Pada saat melewati kedudukan seimbang kecepatan benda 10 m/s. Perubahan energi potensial benda sampai mencapai simpangan maksimum jika diukur dari kedudukan seimbang adalah ....

A. 0,05 joule
B. 0,5 joule
C. 5 joule
D. 50 joule
E. 500 joule

Jawaban: C

• massa beban, m = 100 gram = 0,1 kg
• kecepatan maksimum getaran, $v_m = 10$ m/s $\rightarrow y = 0$

$\Delta Ep = \Delta Ek$

$= ½ mv_m^2 - 0$

$= ½ (0{,}1 \text{ kg}) (10 \text{ m/s})^2$

$= ½ (0{,}1 \text{ kg}) (100 \text{ m}^2/\text{s}^2)$

$= 5$ joule.

10. Sebuah benda yang melakukan gerak harmonik sederhana dengan amplitudo 1 cm, memiliki energi total sebesar $6{,}25 \times 10^{-3}$ J. Jika amplitudonya diubah menjadi 2 cm, energi total gerak tersebut menjadi . . .

A. $1{,}00 \times 10^{-2}$ J
B. $1{,}25 \times 10^{-2}$ J
C. $2{,}50 \times 10^{-2}$ J
D. $4{,}00 \times 10^{-2}$ J
E. $5{,}00 \times 10^{-2}$ J

Jawaban: C

- amplitudo ghs pertama, $A_1 = 1$ cm $= 0{,}01$ m
- energi total ghs pertama $Em_1 = 6{,}25 \times 10^{-3}$ J
- amplitudo ghs kedua, $A_2 = 2$ cm $= 0{,}02$ m

Energi total getaran harmonis yang kedua adalah:

$Em_2 : Em_1 = ½ kA_2^2 : ½ k A_1^2$

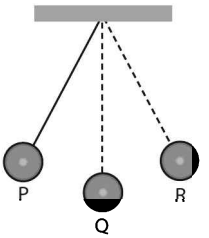
$$Em_2 = \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 \times Em_1$$

$$= \left(\frac{0{,}02}{0{,}01}\right)^2 \times (6{,}25 \times 10^{-3} \text{ J})$$

$$= 2{,}5 \text{ x } 10^{-2} \text{ J}$$

LATIHAN SOAL 18

1. Sebuah bandul bergetar seperti ditunjukkan gambar berikut.

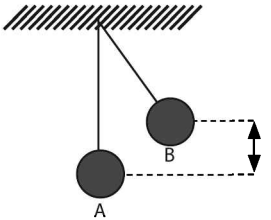


Jika bandul bergetar dari P ke R memerlukan waktu 1/40 s, maka periode getaran adalah . . .

A. 1/20 s
B. 1/40 s
C. 1/60 s
D. 1/80 s
E. 1/160 s

2. Pernyataan yang benar pada benda benda yang menjalani getaran harmonik adalah . . .
   A. Simpangan maksimum energinya maksimum
   B. Simpangan maksimum, kecepatannya nol dan percepatannya maksimum
   C. Simpangan maksimum, kecepatannya maksimum dan percepatannya nol
   D. Simpangan maksimum, kecepatan dan percepatannya minimum
   E. Simpangan maksimum, kecepatan dan percepatannya maksimum

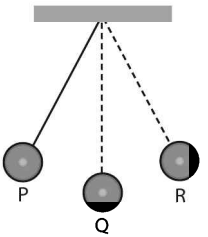
3. Sebuah benda massanya 0,5 kg digantung dengan benang (massa benang diabaikan) dan diayunkan hingga ketinggian 20 cm dari posisi A seperti ditunjukkan gambar berikut.



Jika perceparan gravitasi, g = 10 m/s2, maka kecepatan benda saat di A adalah . . .

A. 4.000 cm/s
B. 400 cm/s
C. 200 cm/s
D. 4 cm/s
E. 2 cm/s

4. Sebuah bandul berosilasi seperti gambar berikut!



Definisi satu getaran adalah gerakan yang dilakukan dari . . .

A. P-R-P
B. P-Q-R-Q
C. P-Q-R
D. P-Q-R-Q-P
E. P-Q

5. Dua buah isolator bergetar dengan fase sama pada t = 0. Frekuensi getaran itu 10 Hz dan 40 Hz. Setelah s kedua gelombang itu memiliki beda sudut fase . . .

A. 0°
B. 30°
C. 45°
D. 90°
E. 180°

6. Benda bergetar selaras sederhana pada pegas dengan tetapan gaya 80 N/m. Amplitudo getaran tersebut 20 cm dan kecepatan maksimumnya sebesar 4 m/s. Masa benda tersebut adalah . . .
   A. 1 kg
   B. 0,8 kg
   C. 0,4 kg
   D. 0,2 kg
   E. 0,1 kg

7. Sebuah ayunan bandul sederhana memiliki panjang tali 64 cm dan massa beban 0,1 kg. Saat bandul diberi simpangan tertentu dan dilepaskan terjadi getaran harmonik. Jika percepatan gravitasi di tempat itu 10 m/s^2, maka periode ayunan bandul tersebut adalah ...
   A. 1,07 s
   B. 1,25 s
   C. 1,57 s
   D. 2,32 s
   E. 3,45 s

8. Dua buah benda mengalami gerak harmonis sederhana dengan persamaan:
   $y_1 = 8 \sin 100t$
   $y_2 = 6 \sin (100t - \pi/2)$
   dengan x, dan y dalam cm dan t dalam s.
   Besar amplitudo superposisi kedua getaran tersebut adalah . . .
   A. 14 cm
   B. 10 cm
   C. 8 cm
   D. 6 cm
   E. 4 cm

9. Kecepatan sebuah benda saat bergerak harmonis pada suatu saat adalah ½ v_m (v_m adalah kecepatan maksimum). Jika amplitudo getaran A, maka besar simpangan saat itu adalah . . .
   A. $\frac{1}{2}\sqrt{3}$ 2 A
   B. $\sqrt{2}$ A
   C. $\frac{1}{2}\sqrt{2}$ A
   D. $\sqrt{3}$ A
   E. $\frac{1}{2}$A

10. Jika massa beban yang digantung pada ujung bawah pegas 1 kg, periode getarannya 3 s. Jika massa beban yang digantung 4 kg, maka periode getaran pada sistem pegas tersebut adalah . . .

A. 3 s
B. 6 s
C. 9 s
D. 12 s
E. 14 s

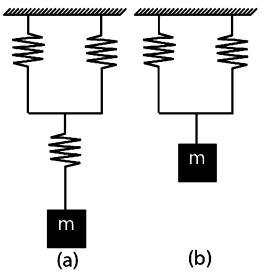
11. Pada saat energi kinetik benda yang bergetar selaras sama dengan energi potensialnya, maka.....
A. Sudut fasenya 180°
B. Fasenya ¾
C. Sudut fasenya 45°
D. Fasenya ¼
E. Percepatannya nol

12. Sebuah benda bermasa 5 gr digetarkan menurut persamaan simpangan $x(t) = (4 \times 10^{-2}) \sin 100t$, dengan t dalam s dan x dalam meter.
Energi total benda tersebut adalah . . .
A. 0
B. 4×10^{-4} J
c. 8×10^{-4} J
d. 4×10^{-2} J
e. 8×10^{-2} J

13. Jika v = kecepatan, a = percepatan, Ek = energi kinetik, dan Ep = energi potensial getaran selaras, maka pada saat melalui kedudukan seimbangnya . . .
(1) Ek maksimum
(2) Ep minimum
(3) a = 0
(4) Ep = 0
Pernyataan yang benar adalah . . .
A. (1), (2), dan (3)
B. (1) dan (3)
C. (2) dan (4)
D. (4) saja
E. semua benar

14. Sebuah ayunan di taman berayun seperti halnya bandul sederhana sebanyak 50 kali dalam waktu 2,5 s. Frekuensi pada ayunan itu sebesar . . .
A. 50 Hz
B. 30 Hz
C. 25 Hz
D. 20 Hz
E. 5 Hz

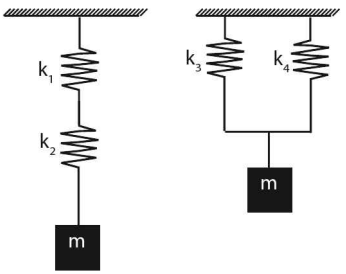
15. Sebuah beban (massa m) dan beberapa pegas identik membentuk sistem pegas-beban yang mengikuti skema rancangan berikut.



Jika gesekan udara diabaikan, kedua rancangan tersebut dapat menghasilkan gerakan atau getaran harmonik sederhana dengan frekuensi tertentu. Jika f_a adalah frekuensi getaran sistem (a), maka besar frekuensi getaran sistem (b) akan sama dengan . . .

A. $\frac{f_a}{9}$
B. $\frac{f_a}{3}$
C. $\sqrt{3}\, f_a$
D. $9\, f_a$
E. $27\, f_a$

16. Pegas disusun secara seri dan pararel seperti ditunjukkan gambar berikut.



Ujung pegas digantungi beban yang sama besar. Jika konstanta pegas $k_1 = k_2 = k_3 = k_4 = k$, maka perbandingan periode susunan seri dan pararel adalah . . .

A. 5 : 4
B. 2 : 1
C. 3 : 2
D. 1 : 2
E. 2 : 3

17. Suatu ayunan bandul sederhana menggunakan tali yang panjangnya $\frac{1}{16}$ m mempunyai periode $\frac{1}{12}$ s. Jika nilai $\pi^2 = 10$, maka percepatan gravitasi ditempat tersebut adalah . . .

A. 10 m/s^2
B. 9,8 m/s^2
C. 9,6 m/s^2
D. 9,4 m/s^2
E. 9,2 m/s^2

18. Saat partikel berosilasi secara harmonik sederhana, posisi partikel berubah secara sinusoidal terhadap waktu. Jika frekuensi gerak partikel adalah f, maka frekuensi yang terkait dengan osilasi tenaga potensialnya adalah . . .

A. 4f
B. 2f
C. f
D. 0,5f
E. 0,25f

19. Sebuah partikel melakukan ayunan harmonis sederhana. Energi kinetik partikel adalah Ek, energi potensialnya Ep dan energi totalnya E. Jika partikel berada di tengah-tengah antara posisi seimbang dan posisi amplitudo, perbandingan nilai Ek/E dan Ep/E berturut-turut adalah....

A. $\frac{1}{4}$ dan $\frac{3}{4}$
B. $\frac{1}{2}$ dan $\frac{1}{2}$
C. $\frac{3}{4}$ dan $\frac{1}{4}$
D. $\frac{1}{8}$ dan $\frac{7}{8}$
E. $\frac{3}{8}$ dan $\frac{5}{8}$

20. Sebuah benda melakukan gerak harmonik sederhana, maka percepatannya adalah :

(1) Berbanding terbalik dengan simpangan
(2) Berlawanan arah dengan arah simpangan
(3) Maksimum pada saat simpangan maksimum
(4) Minimum pada saat simpangan minimum

Pernyataan yang benar adalah . . .

A. (1) saja
B. (1) dan (3)
C. (1), (2), (3), dan (4)
D. (2), (3), dan (4)
E. (2) dan (4)

21. Sebuah benda melakukan getaran harmonik dengan persamaan simpangan y = 10 sin(πt) cm. Kecepatannya simpangan setelah ¾ s adalah . . .
A. $5\pi\sqrt{2}$ cm / s
B. $10\pi\sqrt{2}$ cm / s
C. -10π cm / s
D. $-10\pi\sqrt{2}$ cm / s
E. $-5\pi\sqrt{2}$ cm / s

23. Sebuah massa di ujung suatu pegas berayun (berosilasi) secara selaras sederhana di sekitar titik setimbangnya. Sewaktu energi potensialnya osilator bernilai tiga kali energi kinetiknya, maka . . .
A. Simpangan massa besarnya sama dengan tiga kali amplitudo ayunan
B. Simpangan massa besarnya sama dengan semJikan kali amplitudo ayunan
C. Sudut fase ayunan berselisih 60° atau 120° terhadap sudut fase keadaan setimbangnya
D. Sudut fase ayunan berselisih 45° atau 135° terhadap sudut fase keadaan setimbangnya
E. Sudut fase ayunan berselisih 30° dan 150° terhadap sudut fase keadaan setimbangnya

24. Sebuah pegas yang panjangnya 20 cm digantungkan vertikal. Kemudian ujung bawahnya diberi beban 200 gram sehingga panjangnya bertambah 10 cm. Beban ditarik 5 cm ke bawah kemudian dilepas sehingga beban bergetar harmonik. Jika percepatan gravitasi, g = 10 m/s^2, maka frekuensi getaran adalah...
A. 0,5 Hz
B. 0,628 Hz
C. 5,0 Hz
D. 18,8 Hz
E. 62,8 Hz

25. Sebuah objek melakukan gerak selaras sederhana dengan amplitudo 10 cm dan frekuensi $\frac{1}{\pi}$ Hz.

(1) periodenya = π s
(2) laju angulernya = 2 rad/s
(3) laju minimum = 0
(4) laju maksimum = 30 m/s

Pernyataan yang benar adalah . . .

A. (1), (2), dan (3)
B. (1) dan (3)
C. (2) dan (4)
D. (4) saja
E. semua benar

26. Sebuah benda yang melakukan gerak harmonik sederhana dengan amplitudo 1 cm, memiliki energi total sebesar 6,25 x 10^{-3} J. Jika amplitudonya diubah menjadi 2 cm, energi total gerak tersebut adalah . . .

A. 1,00 x 10^{-2} J
B. 1,25 x 10^{-2} J
C. 2,50 x 10^{-2} J
D. 4,00 x 10^{-2} J
E. 5,00 x 10^{-2} J

27. Sebuah pegas tergantung tanpa beban panjangnya 30 cm. Kemudian ujung bawah pegas digantungi beban 100 gram sehingga panjang pegas menjadi 35 cm. Jika beban tersebut ditarik ke bawah sejauh 5 cm, maka energi potensial eleastis pegas adalah . . . (g=10 m/s^2)

A. 0,0025 J
B. 0,05 J
C. 0,1 J
D. 0,25 J
E. 0,5 J

28. Suatu benda bergetar harmonik dengan amplitudo 4 cm dan frekuensi 5 Hz. Saat simpangannya mencapai 2 cm, sudut fase awal adalah nol. Sudut fase getarannya adalah . . .

A. 90°
B. 60°
C. 45°
D. 30°
E. 15°

29. Sebuah benda melakukan getaran harmonik dengan amplitudo A. Pada saat kecepatannya sama dengan setengah kecepatan maksimumnya, maka simpangannya adalah . . .
    A. nol
    B. 0,20 A
    C. 0,40 A
    D. 0,50 A
    E. 0,64 A

30. Diketahui persamaan getaran harmonik: $y = 20 \sin (10\pi t)$ cm. Besar amplitudo dan frekuensinya adalah . . .
    A. 5 cm dan 5 Hz
    B. 10 cm dan 10 Hz
    C. 20 cm dan 10 Hz
    D. 20 cm dan 5 Hz
    E. 20 cm dan 20 Hz

Fisika (bahasa Yunani: fysikós, "alamiah" atau fýsis, "alam") adalah ilmu tentang alam dalam makna yang terluas.

GELOMBANG MEKANIK

19

A. JENIS-JENIS GELOMBANG

a. Berdasarkan Medium Perambatannya

Berdasarkan ***medium perambatannya***, gelombang dibedakan menjadi dua macam.

1. ***Gelombang mekanik***, yaitu gelombang yang memerlukan medium dalam perambatannya. Misal: gelombang bunyi, gelombang tali, dan tali gelombang permukaan air.
2. ***Gelombang elektromagnetik***, yaitu gelombang yang tidak memerlukan medium dalam perambatannya. Misal: gelombang cahaya, gelombang TV, gelombang radio, gelombang radar, dan gelombang sinar-X.

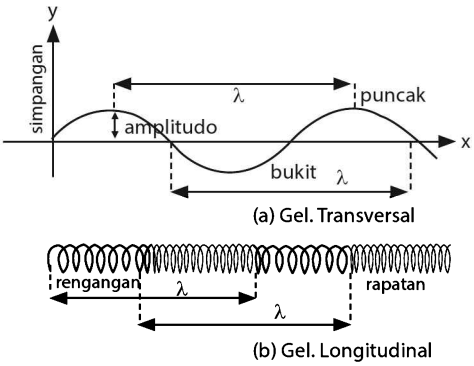
b. Berdasarkan Arah Perambatannya

Berdasarkan ***arah perambatannya***, gelombang dibedakan menjadi dua macam.

1. ***Gelombang transversal***, yaitu gelombang yang arah perambatannya tegak lurus dengan arah getarnya, misal: gelombang tali, gelombang air, dan gelombang elektromagnetik.

b. ***Gelombang longitudinal***, yaitu gelombang yang arah perambatannya sejajar atau berimpit dengan arah getarannya, misal: gelombang bunyi, gelombang pada slinki, gelombang pada gas dalam ruang tertutup.

B. BESARAN-BESARAN GELOMBANG



Panjang gelombang (λ) adalah jarak antara dua titik puncak/titik lembah yang berdekatan pada gelombang transversal (gambar a). Kalau pada gelombang longitudinal, panjang gelombang adalah jarak dua pusat rapatan atau dua pusat renggangan yang berdekatan (gambar b).

Periode (T) adalah waktu yang dibutuhkan oleh suatu titik acuan pada medium gelombang untuk satu kali getaran.

Frekuensi (f) adalah jumlah getaran (osilasi) yang terjadi dalam selang waktu satu detik.

Cepat rambat gelombang (v) adalah kecepatan getaran/gerak bolak-balik secara periodik dari satu titik ke titik lain.

Hubungan antara λ, v, dan T adalah:

- $T = \frac{t}{n}$
- $f = \frac{1}{T} = \frac{n}{t}$
- $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$

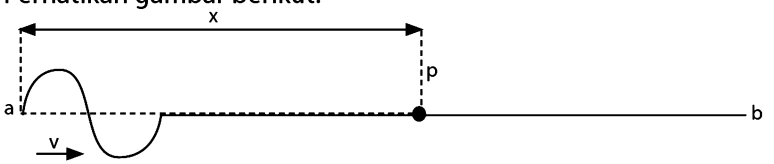
dengan,

v = cepat rambat gelombang (m/s)
T = periode gelombang (s)
λ = panjang gelombang (m)
f = frekuensi gelombang (Hz)
t = selang waktu (s)
n = banyaknya gelombang

C. GELOMBANG BERJALAN

a. Persamaan Simpangan Gelombang Berjalan

Perhatikan gambar berikut!



$$Y_p = \pm A \sin(\omega t \pm kx)$$

dengan,

Y_p = simpangan (m)
A = amplitudo gelombang, dengan ketentuan:
- bernilai positif, sumber gelombang bergerak ke atas pada saat pertama kali bergerak.
- bernilai negatif, sumber gelombang bergerak ke bawah pada saat pertama kali bergerak.

ω = $2\pi f = 2\pi/T$ = kecepatan sudut (rad/s)
k = $2\pi/\lambda$ = bilangan gelombang (/m)
λ = panjang gelombang (m)
x = jarak titik p dari titik a (m)
t = selang waktu gelombang merambat dari a ke p.
f = frekuensi (Hz)

Tanda fase gelombang : $\omega t \pm kx$ adalah:
- bernilai positif, jika gelombang merambat ke arah kiri.
- bernilai negatif, jika gelombang merambat ke arah kanan.

b. Persamaan Kecepatan dan Percepatan Gelombang Berjalan

Misal: $= Y_p = A\sin(\omega t - kx)$.

Kecepatan gelombang berjalan merupakan turunan pertama simpangan terhadap waktu, yaitu:

$$v_p = \frac{dy_p}{dt} = \omega A\cos(\omega t - kx)$$

dengan,

v_p = kecepatan gelombang berjalan (m/s)

Y_p = simpangan (m)

A = amplitudo gelombang, dengan ketentuan:

- bernilai positif, sumber gelombang bergerak ke atas pada saat pertama kali bergerak.
- bernilai negatif, sumber gelombang bergerak ke bawah pada saat pertama kali bergerak.

ω = $2\pi f = 2\pi/T$ = kecepatan sudut (rad/s)

k = $2\pi/\lambda$ = bilangan gelombang (/m)

x = jarak titik p dari titik a (m)

t = selang waktu yang dibutuhkan gelombang merambat dari a ke p.

Percepatan gelombang berjalan a_p merupakan turunan pertama dari kecepatan terhadap waktu, yaitu:

$$a_p = \frac{dv_p}{dt} = -\omega^2 A\sin(\omega t - kx) = -\omega^2 Y_p$$

a_p = Percepatan gelombang berjalan (m/s^2)

c. Sudut Fase, Fase, dan Beda Fase

Dari persamaan umum gelombang berdiri $Y_p = \pm A \sin(\omega t \pm kx)$, diperoleh:

- sudut fase, $\theta = \omega t \pm kx = 2\pi\left(\frac{t}{T} \pm \frac{x}{\lambda}\right)$

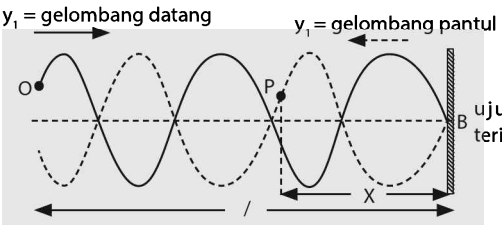
- fase, $\phi = \left(\frac{t}{T} \pm \frac{x}{\lambda}\right)$
- beda fase, $\Delta\phi = \phi_p - \phi_o = \frac{x_O - x_P}{\lambda}$

D. GELOMBANG STASIONER

Gelombang stasioner terjadi jika dua gelombang yang koheren dengan arah rambat yang saling berlawanan bertemu pada suatu titik. Pertemuan dua gelombang mengakibatkan terjadinya superposisi antara kedua gelombang. Hasil superposisi gelombang disebut dengan gelombang stasioner.

a. Gelombang Stasioner pada Ujung Terikat

Perhatikan gambar berikut!



$y_1 = A \sin(\omega t - kx)$
$y_2 = -A \sin(\omega t + kx)$

Persamaan gelombang stasioner diperoleh dengan menjumlahkan gelombang datang dan pantul, sehingga diperoleh:

$$y_p = 2A \sin kx \cos \omega t = A' \cos \omega t$$

dengan,
A' = 2A sin kx = amplitudo gelombang stasioner pada ujung terikat/tetap (m)
x = jarak titik P dari titik pantul (m)
k = bilangan gelombang (1/m)

Titik simpul terjadi jika 2A sin kx = 0 atau kx = n π, sehingga secara umum letak simpul-simpul gelombang stasioner pada ujung terikat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$x = (n-1)\left(\frac{1}{2}\lambda\right)$$

dengan,

x = jarak simpul dari ujung terikat

n = 1, 2, 3, 4, . . .

λ = panjang gelombang stasioner (m)

Perut gelombang terjadi jika 2A sin kx = 1 atau kx = n (½ π), sehingga secara umum letak perut-perut gelombang stasioner pada ujung terikat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$x = (2n-1)\left(\frac{1}{4}\lambda\right)$$

dengan,

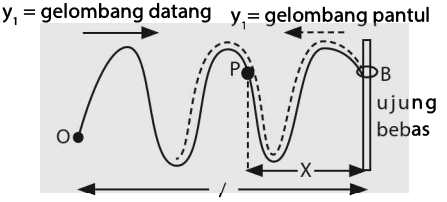
x = jarak perut dari ujung terikat

n = 1, 2, 3, 4, . . .

λ = panjang gelombang stasioner (m)

b. Gelombang Stasioner pada Ujung Bebas

Perhatikan gambar berikut!



$y_1 = A \sin (\omega t - kx)$

$y_2 = -A \sin (\omega t + kx)$

Sehingga diperoleh persamaan gelombang stasioner, yaitu:

$y_p = 2A \cos kx \sin \omega t = A' \sin \omega t$

dengan,

A' = 2A cos kx = amplitudo gelombang stasioner pada ujung terikat/tetap (m)

x = jarak titik P dari titik pantul (m)
k = bilangan gelombang (1/m)

Titik simpul terjadi jika 2A cos kx = 0 atau kx = n (½ π), sehingga secara umum letak simpul-simpul gelombang stasioner pada ujung bebas dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$x = (2n-1)\left(\frac{1}{4}\lambda\right)$$

dengan,
x = jarak simpul dari ujung bebas
n = 1, 2, 3, 4, . . .
λ = panjang gelombang stasioner (m)

Perut gelombang terjadi jika 2A cos kx = 1 atau kx = n π, sehingga secara umum letak perut-perut gelombang stasioner pada ujung bebas dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$x = (n-1)\left(\frac{1}{2}\lambda\right)$$

dengan,
x = jarak perut dari ujung bebas
n = 1, 2, 3, 4, . . .
λ = panjang gelombang stasioner (m)

E. PERCOBAAN MELDE

Pada percobaannya, Melde memperoleh kesimpulan bahwa cepat rambat gelombang pada dawai berbanding lurus dengan akar tegangan, dan berbanding terbalik dengan akar massa persatuan panjang. Secara matematis, dituliskan:

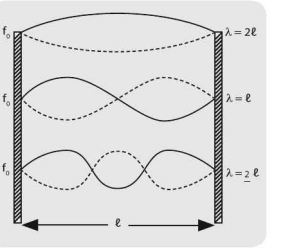
$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{F\ell}{m}} = \sqrt{\frac{F}{\rho A}}$$

dengan,

v = cepat rambat gelombang pada dawai (m/s)
F = tegangan pada dawai (N)
μ = massa per satuan panjang dawai (kg/m)
ℓ = panjang dawai (m)
m = massa dawai (kg)
ρ = massa jenis dawai (kg/m^3)
A = luas penampang dawai (m^2)

F. SUMBER BUNYI DAWAI

Gitar, kecapi, dan biola merupakan contoh peralatan musik yang menggunakan dawai (senar) sebagai sumber bunyi.



Pada senar yang kedua ujungnya terikat, jumlah simpul dan perut yang terbentuk dapat dinyatakan.

Σsimpul = Σperut + 1

- Frekuensi nada dasar dilambangkan f_0, besarnya adalah:
$$f_0 = \frac{v}{\lambda_0} = \frac{v}{2\ell}.$$
- Frekuensi nada atas 1 dilambangkan f_1, besarnya adalah:
$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{\ell}.$$
- Frekuensi nada atas 2 dilambangkan f2, besarnya adalah:
$$f_2 = \frac{v}{\lambda_2} = \frac{v}{\frac{2}{3}\ell} = \frac{3v}{2\ell}.$$

Perbandingan frekuensi nada-nada yang dihasilkan oleh sumber bunyi dawai dengan frekuensi dasarnya merupakan perbandingan bilangan bulat.

$$f_0 : f_1 : f_3 : \ldots = \frac{v}{2\ell} : 2\left(\frac{v}{2\ell}\right) : 3\left(\frac{v}{2\ell}\right) : \ldots = 1 : 2 : 3 : \ldots$$

Dengan demikian, secara umum frekuensi nada yang dihasilkan dawai dapat dituliskan:

$$f_n = \frac{(n+1)}{2\ell} v$$

dengan,

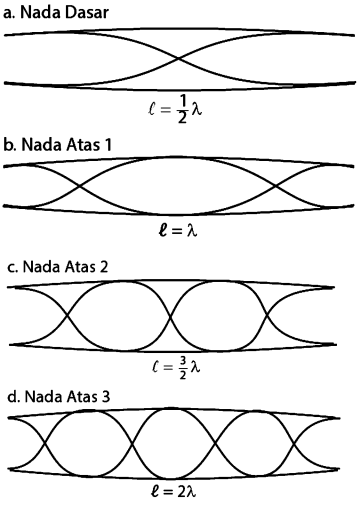
n = 0, 1, 2, 3, 4, . . .
f_n = frekuensi nada ke-n (hertz)
ℓ = panjang senar/dawai (m)
v = cepat rambat gelombang pada dawai (m/s)

G. SUMBER BUNYI KOLOM UDARA

Sumber bunyi yang menggunakan kolom udara sebagai sumber getarnya disebut pipa organa. Pipa organa dibedakan menjadi dua, yaitu pipa organa terbuka dan pipa organa tertutup.

a. Pipa Organa Terbuka

Pada pipa organa terbuka, jumlah simpul dan perut yang terbentuk dapat dinyatakan:



$$\Sigma\text{perut} = \Sigma\text{simpul} + 1$$

Perbandingan frekuensi nada-nada yang dihasilkan oleh pipa organa terbuka dengan frekuensi nada dasarnya merupakan perbandingan bilangan bulat, yaitu:

$$f_0 : f_1 : f_3 : \ldots = \frac{v}{2\ell} : 2\left(\frac{v}{2\ell}\right) : 3\left(\frac{v}{2\ell}\right) : \ldots$$
$$= 1 : 2 : 3 : \ldots$$

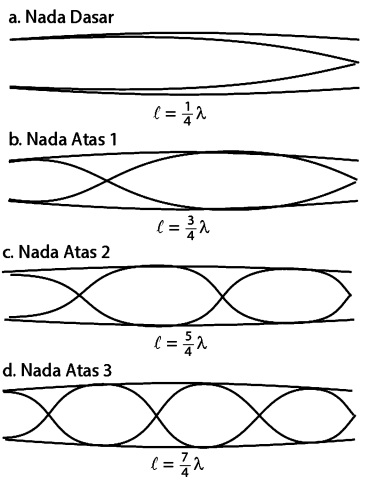
Dengan demikian, secara umum frekuensi nada yang dihasilkan pipa organa terbuka dapat dituliskan:

$$f_n = \frac{(n+1)}{2\ell} v$$

dengan,

n = 0, 1, 2, 3, 4, . . .
f_n = frekuensi nada ke-n (hertz)
ℓ = panjang kolom udara (m)
v = cepat rambat gelombang pada pada kolom udara (m/s)

b. Pipa Organa Tertutup



Pada pipa organa tertutup, jumlah simpul dan perut yang terbentuk dapat dinyatakan:

$$\Sigma\text{perut} = \Sigma\text{simpul}$$

Perbandingan frekuensi nada-nada yang dihasilkan oleh pipa organa tertutup dengan frekuensi nada dasarnya merupakan perbandingan bilangan ganjil, yaitu:

$$f_0 : f_1 : f_3 : \ldots = \frac{v}{4\ell} : 3\left(\frac{v}{4\ell}\right) : 5\left(\frac{v}{4\ell}\right) : \ldots$$
$$= 1 : 3 : 5 : \ldots$$

Dengan demikian, secara umum frekuensi nada yang dihasilkan pipa organa tertutup dapat dituliskan :

$$f_n = \frac{(2n+1)}{4\ell} v$$

dengan n = 0, 1, 2, 3, . . .

H. INTENSITAS DAN TARAF INTENSITAS BUNYI

a. Intensitas Bunyi

Intensitas bunyi menyatakan energi bunyi tiap detik (daya bunyi) yang menembus bidang setiap satuan luas permukaan secara tegak lurus. Secara matematis, dinyatakan:

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2}$$

dengan,

I = intensitas bunyi (watt/m^2)
P = daya rata-rata yang dihasilkan sumber bunyi (watt)
r = jarak antara sumber bunyi ke titik yang ditinjau (m)

Perbandingan intensitas bunyi yang diterima di titik yang berjarak r_1 dan r_2 dari sumber bunyi adalah:

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$

b. Taraf Intensitas Bunyi

Taraf intensitas bunyi merupakan perbandingan nilai logaritma antara intensitas bunyi yang diukur dengan intensitas ambang pendengaran (I_0) yang dituliskan dalam persamaan:

$$TI = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

dengan,

TI = taraf intensitas bunyi (dB)
I_0 = intensitas ambang pendengaran = 10^{-12} W m^{-2}
I = intensitas bunyi (Wm^{-2})

Persamaan taraf intensitas bunyi jika terdapat n buah sumber bunyi yang identik yaitu:

$$TI_2 = TI_1 + 10 \log n$$

Jika TI_1 pada jarak r_1, maka TI_2 pada jarak r_2 ditentukan dengan persamaan berikut:

$$TI_2 = TI_1 + 10 \log \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2$$

c. Pelayangan Bunyi

Pelayangan merupakan merupakan fenomena yang menerapkan prinsip interferensi gelombang. Peristiwa menurun atau meningkatnya kenyaringan secara berkala yang terdengar ketika dua nada dengan frekuensi yang sedikit berbeda dibunyikan pada saat yang bersamaan disebut pelayangan. Secara matematis dinyatakan:

$$f_L = |f_1 - f_2|$$

dengan,
f_L = frekuensi layangan (banyak layangan per detik)
f_1 = frekuensi gelombang y_1 (Hz)
f_2 = frekuensi gelombang y_2 (Hz)

d. Efek Bopler

Persamaan umum efek Dopler adalah:

$$f_P = \frac{v \pm v_P}{v \pm v_s} \cdot f_s$$

dengan,

f_P = frekuensi yang didengar oleh pendengar (Hz)
f_S = frekuensi sumber bunyi (Hz)
v = cepat rambat bunyi (m/s)
v_P = kecepatan gerak pendengar (m/s)
v_S = kecepatan gerak sumber bunyi (m/s)

Ketentuan yang berlaku:

- untuk v_P
  - bertanda positif (+), bila pendengar bergerak mendekati sumber bunyi
  - bertanda negatif (-), bila pendengar bergerak menjauhi sumber bunyi
- untuk v_S
  - bertanda positif (+), bila sumber bergerak menjauhi pendengar
  - bertanda negatif (-), bila sumber bergerak mendekati pendengar

CONTOH SOAL DAN PEMBAHASAN

1. Gelombang transversal merambat dari A ke B dengan cepat rambat 12 m/s pada frekuensi 4 Hz dan amplitudo 5 cm. Jika jarak AB = 18 m, maka banyaknya gelombang yang terjadi sepanjang AB adalah . . .

   A. 9
   B. 8
   C. 7
   D. 6
   E. 4

   Jawaban: D

   - jarak AB = 18 m
   - cepat rambat gelombang, v = 12 m/s
   - frekuensi gelombang, f = 4 Hz
   - amplitudo gelombang, A = 5 cm

Waktu yang diperlukan gelombang untuk merambat dari A ke B adalah:

$AB = v \times t$

$18\ m = (12\ m/s) \times t$

$= (18\ m) : (12\ m/s)$

$= 1{,}5\ s$

Banyaknya gelombang yang terjadi (n) sepanjang AB adalah:

$n = \frac{t}{T} \rightarrow$ karena $T = \frac{1}{f}$

$n = f \times t$

$n = (4\ Hz)\ (1{,}5\ s)$

$n = 6.$

2. Berikut ini adalah persamaan simpangan gelombang berjalan: $y = 10 \sin\pi(0{,}4t - 0{,}5x)$. Periode gelombangnya adalah . . .

A. 10 s
B. 5 s
C. 4 s
D. 0,4 s
E. 0,2 s

Jawaban: B

- persamaan gelombang berjalan: $y = 10 \sin \pi (0{,}4t - 0{,}5x) = 10 \sin(0{,}4\pi t - 0{,}5\pi x)$
- kecepatan sudut, $\omega = 0{,}4\pi$ rad/s

Persamaan gelombang berjalan:

$$y = A\sin(\omega t - kx) = A\sin\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi}{\lambda}x\right) \Leftrightarrow y = 10\sin(0{,}4\pi t - 0{,}5\pi x).$$

Periode (T) gelombangnya adalah:

$$\frac{2\pi}{T} = 0{,}4\,\pi$$

$$T = \frac{2\pi}{0{,}4\pi}$$

$$= 5\,s.$$

3. Gelombang berjalan dengan persamaan $y = 0{,}02 \sin \pi(8t - x)$, di mana x, y dalam cm dan t dalam detik. Besar simpangan di titik yang berjarak 5 cm dari titik asal pada saat titik asal telah bergetar selama 1 detik adalah . . .

A. 5 cm
B. 3 cm
C. $\sqrt{3}$ cm
D. $\sqrt{2}$ cm
E. 0 cm

Jawaban: E

- persamaan gelombang berjalan: $y = 0{,}02 \sin \pi(8t - x)$
- jarak titik pengamatan terhadap titik asal, $x = 5$ cm
- selang waktu titik bergetar, $t = 1$ s

Besar simpangannya adalah:
$y = 0{,}02 \sin \pi (8t - x)$
$y = 0{,}02 \sin \pi (8 \cdot 1 - 8)$
$y = 0{,}02 \sin \pi (8 - 8)$
$y = 0{,}02 \sin 0$
$y = 0{,}02 \times (0)$
$y = 0$.

4. Akibat adanya pemantulan, terbentuk gelombang stasioner dengan persamaan $y = 0{,}5 \sin (0{,}4\pi x) \cos \pi(10t - 4)$ meter. Dari persamaan tersebut, kelajuan gelombang pantulnya adalah . .

A. 2 m/s
B. 4 m/s
C. 5 m/s
D. 10 m/s
E. 25 m/s

Jawaban: E

- persamaan gelombang stasioner: $y = 0{,}5 \sin (0{,}4\pi x) \cos \pi(10t - 4) \rightarrow$(meter)

Persamaan gelombang stasioner pada ujung terikat dinyatakan:
$y = 2A \sin kx \cos \omega t \Leftrightarrow y = 0{,}5 \sin (0{,}4\pi x) \cos \pi(10t - 4)$
dari persamaan di atas, diperoleh:

- $2A = 0{,}5 \Leftrightarrow A = 0{,}25$ meter
- $k = 0{,}4\pi$
- $\omega = 10\pi$

Laju gelombang pantulnya adalah:

$$v = \frac{\omega}{k}$$
$$= \frac{10\pi}{0{,}4\pi}$$
$$= 25 \text{ m/s}$$

5. Seutas tali yang panjangnya 100 cm direntangkan horizontal. Salah satu ujungnya digetarkan harmonik naik-turun dengan frekuensi 1/8 Hz dan amplitudo 16 cm, sedangkan ujung lainnya terikat. Getaran harmonik tersebut merambat ke kanan sepanjang tali dengan cepat rambat 4,5 cm/s. Letak perut ke-4 dari titik asal getaran adalah . . .

A. 100 cm
B. 87 cm
C. 63 cm
D. 54 cm
E. 37 cm

Jawaban: C

- gelombang stasioner pada ujung terikat
- panjang tali, $\ell = 100$ cm
- frekuensi = 1/8 Hz = 0,125 Hz
- amplitudo, A = 16 cm
- cepat rambat gelombang, v = 4,5 cm/s

Panjang gelombangnya adalah:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{4{,}5 \text{ cm/s}}{0{,}125 \text{ Hz}} = 36 \text{ cm.}$$

Letak perut ke-4 (n = 4) gelombang dari ujung terikat adalah:

$$x = (2n-1)\left(\frac{1}{4}\lambda\right) = (2 \cdot 2 - 1)\left(\frac{1}{4}(36 \text{ cm})\right) = 27 \text{ cm.}$$

Letak perut ke-4 gelombang dari titik asal getaran adalah:

$\Delta x = \ell - x$
$= 100\ cm - 27\ cm$
$= 63\ cm.$

6. Dua buah dawai baja yang identik memberikan nada dasar dengan frekuensi 400 Hz. Bila tegangan dalam salah satu dawai ditambah dengan 2%, berapa frekuensi pelayangan yang terjadi?

A. 0 Hz
B. 2 Hz
C. 4 Hz
D. 6 Hz
E. 8 Hz

Jawaban: C

- dua buah kawat identik, $m_1 = m_2 = m$; $\ell_1 = \ell_2 = \ell$
- frekeunsi nada dasar yang dihasilkan masing-masing dawai, $f_0 = 400$ Hz.
- $F_2 = F_1 + 2\%F_1 = F_1 + 0{,}02\ F_1 = 1{,}02\ F_1$.

Frekuensi nada pada dawai kedua setelah tegangannya ditambah adalah:

$$f_{02} : f_{01} = \frac{1}{2\ell}\sqrt{\frac{F_2\,\ell}{m}} : \frac{1}{2\ell}\sqrt{\frac{F_1\,\ell}{m}}$$

$$f_{02} = \sqrt{\frac{F_2}{F_1}}\ x\ f_{01}$$

Frekuensi layangan yang terjadi adalah:

$$F_{layangan} = f_{02} - f_{01}$$
$$= \sqrt{\frac{F_2}{F_1}}\ x\ f_{01} - f_{01}$$
$$= \sqrt{\frac{1{,}02F_1}{F_1}}\ x\ (400\,Hz) - 400\,Hz$$
$$= \sqrt{1{,}02}\ x\ (400\,Hz) - 400\,Hz$$
$$\approx (1{,}01)\ x\ (400\ Hz) - 400\ Hz$$
$$\approx 404\ Hz - 400\ Hz$$
$$\approx 4\ Hz.$$

7. Sebuah sumber gelombang bunyi dengan daya 50 W memancarkan gelombang ke medium di sekelilingnya yang homogen. Tentukan intensitas radiasi gelombang tersebut pada jarak 10 m dari sumber!

A. 0,04 W/m^2
B. 4,00 W/m^2
C. 40,0 W/m^2
D. 400 W/m^2
E. 4000 W/m^2

Jawaban: A

- daya rata-rata yang dihasilkan sumber bunyi, P = 50 watt
- jarak sumber bunyi ke titik tinjau, r = 10 m

Intensitas radiasi gelombang bunyi tersebut adalah:

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2}$$
$$= \frac{50\,\text{watt}}{4 \times (3{,}14) \times (10\,\text{m}^2)}$$
$$= \frac{50\,\text{watt}}{1256\,\text{m}^2}$$
$$\approx 0{,}04\ \text{watt/m}^2$$

8. Pada jarak 3 meter dari sumber ledakan terdengar bunyi dengan taraf intensitas 50 dB. Pada jarak 30 meter dari sumber ledakan bunyi itu terdengar dengan taraf intensitas . . .

A. 5 dB
B. 20 dB
C. 30 dB
D. 35 dB
E. 45 dB

Jawaban: C

- jarak titik tinjauan pertama, $r_1 = 3$ m
- taraf intensitas pada jarak tinjauan pertama, $TI_1 = 50$ dB
- jarak tinjauan kedua, $r_2 = 30$ m

Taraf intensitas pada jarak tinjauan yang kedua adalah:

$$TI_2 = TI_1 + 10\log\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$

$$= 50\ dB + 10\log\left(\frac{3}{30}\right)^2$$

$= 50\ dB + 10 \log (10^{-1})^2$
$= 50\ dB + 10 \times (-2)\ dB$
$= 50\ dB - 20\ dB$
$= 30\ dB.$

9. Jarak A ke sumber bunyi adalah 3 kali jarak B ke sumber bunyi tersebut. Intensitas bunyi yang didengar A dibandingkan dengan intensitas bunyi yang didengar B adalah . . .

A. 1 : 1
B. 1 : 3
C. 1 : 9
D. 3 : 1
E. 9 : 1

Jawaban: E

- jarak sumber bunyi ke titik A, $r_A = 3 \times r_B$

Perbandingan intensitas bunyi yang didengan A dengan titik B adalah:

$$\frac{I_B}{I_A} = \left(\frac{r_A}{r_B}\right)^2$$

$$= \left(\frac{3 \times r_B}{r_B}\right)^2$$

$$= \frac{9}{1}$$

$$= 9 : 1$$

10. Sebuah mobil bergerak dengan kecepatan 20 m/s menjauhi orang di pinggir jalan sambil. Sopir mobil membunyikan klakson berfrekuensi 400 Hz. Jika cepat rambat bunyi di udara pada saat itu 380 m/s, maka frekuensi yang didengar oleh orang di pinggir jalan adalah . . .

A. 340 Hz
B. 360 Hz
C. 380 Hz
D. 400 Hz
E. 420 Hz

Jawaban: C

- kecepatan gerak sumber bunyi, $v_s = 20$ m/s
- kecepatan gerak pendengar, $v_P = 0$ (diam)
- kecepatan gelombang bunyi di udara, $v = 380$ m/s
- frekuensi sumber bunyi, $f_S = 400$ Hz

Frekuensi bunyi yang didengar oleh pendengar (orang di pinggir jalan) adalah:

$$f_p = \frac{v \pm v_P}{v \pm v_s} \cdot f_s$$

$$= \frac{v}{v + v_s} \cdot f_s \rightarrow V_p = 0 \text{ dan } V_s \text{ menjuhi pendengar}$$

$$= \frac{380}{380 + 20} \times (400 \text{Hz})$$

$$= \frac{380}{400} \text{x} \, (400 \, \text{Hz})$$

$$= 380 \, \text{Hz}.$$

LATIHAN SOAL 19

1. Sebuah gelombang berjalan dengan persamaan $y = 0{,}02 \sin \pi(50t + x)$ cm. Dari persamaan gelombang tersebut, maka:
   (1) Frekuensi gelombang 25 Hz
   (2) Panjang gelombang 2 m
   (3) Cepat rambat gelombang 50 m/s
   (4) Dua titik yang berjarak 50 m sefase

   Pernyataan yang benar adalah . . .
   A. (1), (2), dan (3)
   B. (1) dan (3)
   C. (2) dan (4)
   D. (4) saja
   E. semua benar

2. Gelombang *transversal* merambat dari A ke B dengan cepat rambat 12 m/s pada frekuensi 4 Hz dan amplitudo 5 cm. Jika jarak AB = 18 m, maka banyaknya gelombang yang terjadi sepanjang AB adalah . . .
   A. 9
   B. 8
   C. 7
   D. 7
   E. 4

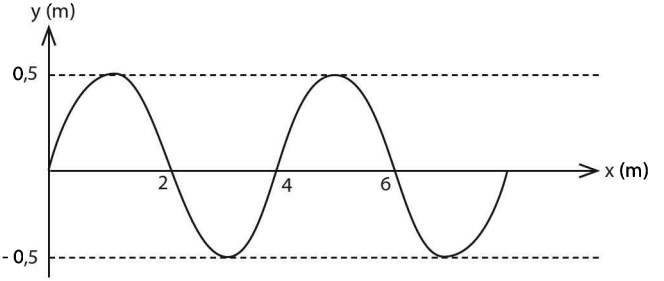
3. Sebuah pipa organa tertutup panjangnya 60 cm. Jika cepat rambat bunyi 340 m/s, tentukan frekuensi nada dasar, harmoni ketiga, dan harmoni kelima pada pipa organa tersebut!
   A. f_0=144,7 Hz, f_3=991,7Hz, f_5=1558,3Hz
   B. f_0=141,7 Hz, f_3=891,7Hz, f_5=1558,3Hz

C. f_0=141,7 Hz, f_3=991,7Hz, f_5=1448,3Hz
D. f_0=141,7 Hz, f_3=991,7Hz, f_5=1558,3Hz
E. f_0=148,7 Hz, f_3=991,7Hz, f_5=1558,3Hz

4. Sebuah pegas *(slinky)* digetarkan sehingga menghasilkan gelombang longitudinal dengan jarak dua rapatan terdekat = 40 cm. Jika cepat rambat gelombangnya 20 m/s, maka panjang gelombang dan frekuensi gelombangnya adalah . . .
   A. 0,2 m dan 100 Hz
   B. 0,4 m dan 50 Hz
   C. 0,8 m dan 25 Hz
   D. 40 m dan 0,50 Hz
   E. 80 m dan 0,25 Hz

5. Sebuah gelombang yang merambat pada tali memenuhi persamaan: $y = 0{,}03 \sin\pi(2t - 0{,}1x)$, dengan y dan x dalam meter dan t dalam detik, maka:
   (1). Panjang gelombangnya 20 m
   (2). Frekuensi gelombangnya 1 Hz
   (3). Cepat rambat gelombangnya 20 m/s
   (4). Amplitudo gelombangnya 3 m
   Pernyataan yang benar adalah . . .
   A. (1), (2), dan (3)
   B. (1) dan (3)
   C. (2) dan (4)
   D. (4) saja
   E. (1), (2), (3), dan (4)

6. Gelombang di bawah ini menyatakan perambatan gelombang tali.



   Jika periode gelombang 2 s, maka persamaan gelombangnya adalah . . .

A. $y = 0{,}5 \sin 2\pi(t - 0{,}5x)$
B. $y = 0{,}5 \sin \pi(t - 0{,}5x)$
C. $y = 0{,}5 \sin \pi(t - x)$
D. $y = 0{,}5 \sin 2\pi(t - x/4)$
E. $y = 0{,}5 \sin 2\pi(t - x/6)$

7. Gelombang transversal merambat sepanjang tali. Titik C dan D terletak pada tali tersebut. Persamaan gelombang di titik D dinyatakan sebagai berikut.

$$y_D = 0{,}06 \sin 20\pi\left(t_C + \frac{x}{10}\right)$$

Semua besaran menggunakan satuan dasar SI. Jika x adalah jarak *CD*, perhatikan pernyataan berikut:

(1) gelombang merambat dari D ke C
(2) gelombang memiliki periode sebesar 0,05 s
(3) gelombang merambat sejauh 20 m tiap detik
(4) gelombang memiliki panjang gelombang 1 m

Pernyataan yang benar adalah . . .

A. (1) dan (2)
B. (1), (2) dan (3)
C. (1) dan (4)
D. (2), (3) dan (4)
E. (3) dan (4)

8. Pipa organa terbuka yang panjangnya 25 cm menghasilkan frekuensi nada dasar sama dengan frekuensi yang dihasilkan oleh dawai yang panjangnya 150 cm. Jika cepat rambat bunyi di udara 340 m/s dan cepat rambat gelombang *transversal* pada dawai 150 m/s, maka dawai menghasilkan . . .

A. Nada dasar
B. Nada atas pertama
C. Nada atas kedua
D. Nada atas ketiga
E. Nada atas keempat

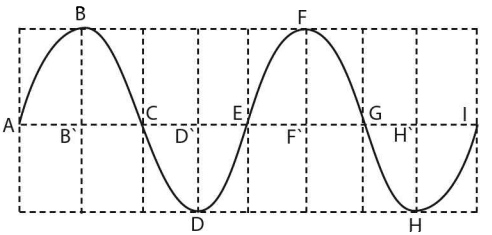
9. Dua gelombang masing-masing merambat melalui tali A dan B yang kondisi fisiknya sama tetapi frekuensi gelombang A dua kali frekuensi gelombang B dan amplitudo gelombang A juga dua kali amplitudo gelombang B. Perbandingan energi gelombang A dan B adalah . . .

A. 1 : 4
B. 1 : 2
C. 2 : 1
D. 8 : 1
E. 16 : 1

10. Frekuensi nada atas kedua sebuah pipa organa terbuka sama dengan frekuensi nada atas pertama sebuah pipa organa tertutup yang ditiup bergantian pada suhu sama. Perbandingan panjang pipa organa terbuka dengan panjang pipa organa tertutup tersebut adalah . . .
    A. 1 : 2
    B. 1 : 3
    C. 1 : 4
    D. 2 : 1
    E. 4 : 1

11. Pada percobaan Melde menggunakan dawai yang panjangnya 2 m dan massanya 20 gram. Dawai diberi tegangan 16 N. Cepat rambat gelombang sepanjang dawai adalah . . .
    A. 4 m/s
    B. 12,5 m/s
    C. 40 m/s
    D. $40\sqrt{10}$ m/s
    E. 2400 m/s

12. Perhatikan gambar berikut!



Jumlah gelombang berdasarkan gambar tersebut adalah . . .
    A. 1 gelombang
    B. 2 gelombang
    C. 3 gelombang
    D. 4 gelombang
    E. 5 gelombang

13. Suatu gelombang merambat pada tali yang memenuhi persamaan $y = 0{,}4 \sin 2\pi(60t - 0{,}4x)$, dimana Y dan X dalam meter dan t dalam detik. Jika titik A dan B pada tali tersebut terpisah sejauh 1 meter, maka beda fase antara titik A dan B adalah…
    A. 3/5
    B. 2/5
    C. 4/5
    D. 1/5
    E. 7/5

14. Tali AB yang panjangnya 2 m digetarkan dari A sehingga terjadi gelombang transversal dengan amplitudo 20 cm, kecepatan 0,5 m/s, dan periode 6 detik. Titik P terletak 25 cm dari B yang merupakan ujung bebas. Simpangan P hasil perpaduan gelombang datang dan gelombang pantul adalah . . .
    A. 40 cm
    B. 30 cm
    C. 25 cm
    D. 20 cm
    E. 10 cm

15. Taraf intensitas bunyi sebuah mesin adalah 60 dB (dengan acuan intensitas ambang pendengaran 10^{-12} W/m^2). Jika taraf intensitas di dalam ruang pabrik yang menggunakan sejumlah mesin tersebut adalah 80 dB, maka jumlah mesin yang digunakan adalah . . .
    A. 200
    B. 140
    C. 100
    D. 20
    E. 10

16. Sebuah sumber bunyi dengan frekuensi 1.024 Hz bergerak mendekati seorang pengamat dengan kecepatan 34 m/s. Kecepatan rambat bunyi di udara sebesar 340 m/s. Jika pengamat bergerak menjauhi sumber bunyi dengan kecepatan 17 m/s, maka frekuensi bunyi yang didengar oleh pengamat adalah . . .
    A. 1.320 Hz
    B. 1.220 Hz
    C. 1.120 Hz
    D. 1.080 Hz
    E. 920 Hz

17. Gelombang stasioner dapat terjadi karena superposisi gelombang datang dan gelombang pantul oleh ujung bebas. Titik simpul yang kesepuluh berjarak 1,52 m dari ujung bebasnya. Jika frekuensi gelombang itu 50 Hz, maka cepat rambat gelombangnya adalah . . .
    A. 72 m/s
    B. 64 m/s
    C. 48 m/s
    D. 32 m/s
    E. 16 m/s

18. Bunyi sebuah mesin menghasilkan taraf intensitas bunyi sebesar 30 dB. Jika intensitas ambang bunyi sebesar 10^{-12} W/m^2, maka bunyi

dua mesin sejenis yang sedang bekerja bersamaan menghasilkan intensitas bunyi sebesar . . .

A. 2×10^{-10} W/m^2
B. 5×10^{-10} W/m^2
C. 1×10^{-9} W/m^2
D. 2×10^{-9} W/m^2
E. 5×10^{-9} W/m^2

19. Sepotong dawai menghasilkan nada dasar f. Ketika dawai dipendekkan sebesar 8 cm tanpa mengubah tegangannya, akan dihasilkan frekuensi 1,25 f. Jika dawai dipendekkan 2 cm lagi, maka frekuensi yang dihasilkan adalah . . .

A. 2 f
B. 1,5 f
C. 1,33 f
D. 1,25 f
E. f

20. Seutas tali memiliki panjang 3 meter. Salah satu ujung tali tersebut diikat dan ujung yang lain digetarkan terus-menerus sehingga membentuk gelombang stasioner. Pada tali terbentuk tiga gelombang penuh. Jika diukur dari ujung yang terikat, maka perut yang ketiga terletak pada jarak . . .

A. 1,00 m
B. 1,25 m
C. 1,50 m
D. 2,25 m
E. 2,50 m

21. Sebuah pipa panjangnya 2,5 m. Tentukan tiga frekuensi harmonik terendah jika pipa terbuka pada kedua ujungnya (v = 350 m/s) !

A. $f_0 = 70$ Hz, $f_1 = 140$ Hz, $f_2 = 210$ Hz
B. $f_0 = 80$ Hz, $f_1 = 140$ Hz, $f_2 = 210$ Hz
C. $f_0 = 70$ Hz, $f_1 = 140$ Hz, $f_2 = 230$ Hz
D. $f_0 = 70$ Hz, $f_1 = 150$ Hz, $f_2 = 210$ Hz
E. $f_0 = 80$ Hz, $f_1 = 140$ Hz, $f_2 = 220$ Hz

22. Jarak A ke sumber bunyi adalah dua kali jarak B ke sumber bunyi tersebut. Perbandingan intensitas bunyi yang diterima A dan B adalah . . .

A. 1 : 2
B. 1 : 4
C. 1 : 6
D. 2 : 1
E. 4 : 1

23. Sebuah senar gitar satu ujungnya terikat, dan ujung lainnya ditekan dengan jari. Jika senar ini dipetik akan terdengar suara pada frekuensi dasarnya sebesar 100 getaran per detik. Jika panjang senar yang bergetar adalah 50 cm, dan tegangan pada senar adalah sebesar 100 newton, maka massa senar gitar adalah . . .

A. 50 gram
B. 10 gram
C. 5 gram
D. 2,5 gram
E. 1 gram

24. Seorang penerbang yang pesawat terbangnya menuju ke menara bandara mendengar bunyi sirene menara dengan frekuensi 2.000 Hz. Jika sirene memancarkan bunyi dengan frekuensi 1.700 Hz, dan cepat rambat bunyi di udara 340 m/s, maka kecepatan pesawat terbang tersebut adalah . . .

A. 196 km/jam
B. 201 km/jam
C. 210 km/jam
D. 216 km/jam
E. 220 km/jam

25. Gelombang transversal merambat sepanjang tali AB. Persamaan gelombang di titik B dinyatakan sebagai berikut.

$$y_B = 0{,}08 \sin 20\pi \left(t_A - \frac{x}{5} \right)$$

Semua besaran menggunakan satuan dasar SI. Jika x adalah jarak AB, perhatikan pernyataan berikut:

(1) Gelombang memiliki amplitudo 4 cm
(2) Gelombang menempuh AB selama 5 detik
(3) Gelombang memiliki frekuensi 10 Hz
(4) Cepat rambat gelombang 5 m/s

Pernyataan yang benar adalah . . .

A. (1) dan (2)
B. (1), (2) dan (3)
C. (1) dan (4)
D. (2), (3) dan (4)
E. (3) dan (4)

26. Suatu gelombang berjalan melalui titik A dan B yang berjarak 8 cm dalam arah dari A ke B. Pada saat t = 0, simpangan gelombang di A

adalah nol. Jika panjang gelombangnya 12 cm dan amplitudonya 4 cm, maka simpangan titik B pada saat fase titik A $3\pi/2$ adalah . . .

A. 4 cm
B. 3 cm
C. $2\sqrt{3}$ cm
D. 2 cm
E. $2\sqrt{2}$ cm

27. Pada suatu pipa organa terbuka dengan panjang 20 cm di dalamnya terjadi 2 buah simpul. Nada dari pipa organa ini beresonansi dengan pipa organa lain yang tertutup serta membentuk tiga buah simpul. Panjang pipa organa yang tertutup adalah . . .

A. 16 cm
B. 20 cm
C. 25 cm
D. 30 cm
E. 35 cm

28. Suatu sumber bunyi bergerak relatif terhadap pendengar yang diam. Jika cepat rambat bunyi di udara 325 m/s dan kecepatan sumber bunyi 25 m/s, maka perbandingan frekuensi yang diterima pendengar itu pada saat sumber bunyi mendekati dan menjauhi adalah. . .

A. 5 : 6
B. 7 : 6
C. 6 : 7
D. 6 : 5
E. 5 : 4

29. Seutas tali yang panjangnya 8 m memiliki massa 1,04 gram. Tali digetarkan sehingga sebuah gelombang transversal menjalar dengan persamaan sebagai berikut.

$y = 0{,}03\sin(x + 30t)$

Jika x dan y dalam meter dan t dalam detik, maka tegangan tali tersebut adalah . . .

A. 0,12 N
B. 0,24 N
C. 0,36 N
D. 0,60 N
E. 0,72 N

30. Seseorang berdiri di samping sumber bunyi yang frekuensinya 676 Hz. Sebuah sumber bunyi lain dengan frekuensi 600 Hz mendekati orang tadi dengan kecepatan 10 m/s. Jika cepat rambat bunyi di udara 340 m/s, maka orang tersebut akan mendengar pelayangan dengan frekuensi . . .

A. 4 Hz
B. 6 Hz
C. 8 Hz
D. 10 Hz
E. 16 Hz

Fisika (bahasa Yunani: fysikós, "alamiah" atau fýsis, "alam") adalah ilmu tentang alam dalam makna yang terluas.

GELOMBANG CAHAYA

20

A. CAHAYA

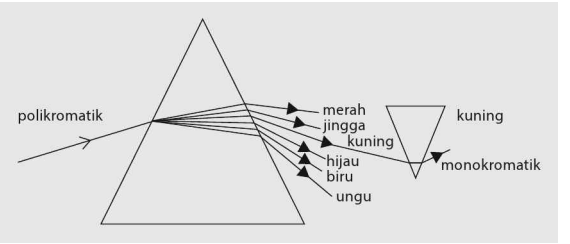
Cahaya merupakan radiasi gelombang elektromagnetik yang dapat dideteksi oleh mata. Oleh karena itu, cahaya selain memiliki sifat-sifat gelombang secara umum misal: dispersi, interferensi, difraksi, dan polarisasi. Cahaya juga memiliki sifat-sifat gelombang elektromagnetik, yaitu dapat merambat melalui ruang hampa.
Cepat rambat gelombang elektromagnetik (misal: cahaya) dinyatakan:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

dengan,
μ_0 = permeabilitas ruang hampa = $4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A·m
ε_0 = permitivitas ruang hampa = $8{,}85 \times 10^{-12}$ C/N·m^2.
c = cepat rambat cahaya (3×10^8 m/s)

B. DISPERSI CAHAYA

Dispersi cahaya adalah peristiwa terurainya cahaya putih (polikromatik) menjadi cahaya yang berwarna-warni (monokromatik).



Gambar di atas menunjukkan bahwa bila cahaya putih (polikromatik) dilewatkan pada prisma akan terurai dari panjang gelombang terbesar atau frekuensi terkecil, yaitu warna merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila, dan ungu.
Selisih sudut deviasi antara cahaya ungu dan merah disebut ***sudut dispersi***, yaitu:

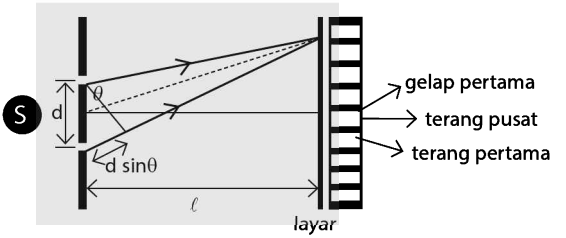
$$\varphi = \delta_u - \delta_m = (n_u - n_m)\,\beta$$

dengan,
φ = sudut dispersi
δ_u = sudut deviasi minimum cahaya warna ungu
δ_m = sudut deviasi minimum cahaya warna merah
n_u = indeks bias warna ungu
n_m = indeks bias warna merah
β = sudut pembias prisma

C. INTERFERENSI CAHAYA

Interferensi adalah perpaduan antara dua gelombang atau lebih gelombang cahaya. Agar interferensi cahaya dapat teramati dengan jelas, maka kedua gelombang cahaya harus bersifat koheren (kedua gelombang mempunyai amplitudo dan frekuensi yang sama serta beda fasenya tetap).

a. Interferensi Celah Ganda (Percohaan Young)



Interferensi maksimum (pola terang) terjadi jika beda lintasan kedua gelombang sama dengan nol atau kelipatan dari panjang gelombang.

$$d \sin \theta = n\lambda \text{ atau } = \frac{p \times d}{\ell} = n\lambda$$

dengan,

p = jarak garis terang orde tertentu dari terang pusat
d = jarak kedua celah (sumber)
ℓ = jarak layar ke sumber cahaya (celah)
λ = panjang gelombang cahaya monokromatik
n = orde terang (n = 0, 1, 2, 3, . . .)

Interferensi minimum (pola gelap) terjadi jika beda lintasan kedua gelombang merupakan kelipatan ganjil dari setengah panjang gelombang.

$$d \sin \theta = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda \text{ atau } \frac{p \times d}{\ell} = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda$$

dengan,

p = jarak garis gelap ke-n dari terang pusat
n = orde gelap (n = 1, 2, 3, . . .)

Jarak antardua pola terang berurutan sama dengan jarak dua garis gelap berurutan, yaitu:

$$\frac{\Delta p \times d}{\ell} = \Delta n \times \lambda$$

h. Interferensi pada Lapisan Tipis

Interferensi maksimum atau garis terang terjadi jika:

$$2\,n\,d = (2m + 1)\,½\,\lambda$$

Interferensi minimum atau garis gelap terjadi jika:

$$2\,n\,d = (2m)\,½\,\lambda$$

dengan,

n = indeks bias lapisan tipis
d = tebal lapisan (m)
λ = panjang gelombang (m)
m = orde interferensi = 0, 1, 2, 3, . . .

c. Cincin Newton

Cincin Newton merupakan pola interferensi pada selaput tipis udara berupa lingkaran-lingkaran garis gelap dan terang yang sepusat.
Interferensi minimum (gelap):

$$nr^2 = m\lambda R \rightarrow m = 0, 1, 2, ...$$

Interferensi maksimum (terang):

$$nr^2 = \left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda R \rightarrow m = 0, 1, 2, ...$$

dengan,

r = jari-jari garis gelap/terang orde ke-m (m)
n = indeks bias lensa
λ = panjang gelombang (m)
m = orde interferensi = 0, 1, 2, 3, . . .

D. DIFRAKSI CAHAYA

Difraksi merupakan peristiwa pembelokan arah rambat/pelenturan cahaya setelah mengenai suatu celah sempit (kisi).

a. Difraksi pada Celah Tunggal

Pola gelap (difraksi minimum) terjadi jika:

$$d \sin \theta = n \lambda \text{ atau } \frac{p\,d}{\ell} = n\lambda$$

Pola terang (difraksi maksimum) terjadi jika:

$$d \sin \theta = (2n + 1)1/2\lambda \text{ atau}$$

$$\frac{p\,d}{\ell} = (2n + 1)1/2\lambda$$

dengan,

d = lebar celah (m)
p = jarak garis terang atau gelap ke terang pusat (m)
ℓ = jarak layar ke sumber cahaya (celah)
λ = panjang gelombang cahaya monokromatik
n = orde interferensi/menyatakan garis terang atau gelap dari terang pusat.

h. Difraksi pada Kisi

Bila cahaya dilewatkan pada kisi dan diarahkan ke layar, maka pada layar akan terjadi hal-hal berikut.

- Garis terang (maksimum), jika: $d \sin \theta = n \lambda \rightarrow n = 0, 1, 2, 3, \ldots$
- Garis gelap (minimum), jika: $d \sin \theta = (n - ½) \lambda \rightarrow n = 1, 2, 3, \ldots$

dengan, $d = \frac{1}{N}$ (N adalah konstanta kisi).

Kemampuan lensa untuk membedakan bayangan dari dua titik benda yang sangat dekat disebut ***resolusi lensa***. Daya urai (batas resolusi lensa mata), dinyatakan:

$$d_m = \frac{1{,}22 \times \lambda \times L}{D}$$

dengan,

d_m = daya urai
L = jarak benda ke lensa (m)

D = diameter pupil mata (m)
λ = panjang gelombang cahaya (m)

E. POLARISASI CAHAYA

Polarisasi adalah terserapnya sebagian arah getar gelombang cahaya, sehingga tinggal satu arah getarnya. Penyebab polarisasi, antara lain:

- pemantulan
- pembiasan ganda
- absorbsi selektif
- hamburan

Berdasarkan hukum Snellius, besarnya sudut datang saat terjadi polarisasi adalah:

$n_1 = n_2 \tan \theta_P$ dengan $n_2 > n_1$.

Jika satu berkas cahaya terpolarisasi bidang jatuh pada polaroid yang sumbunya membentuk sudut θ terhadap arah polarisasi datang, amplitudonya akan diperkecil sebesar cos θ.
Intensitas cahaya terpolarisasi bidang yang ditransmisikan oleh alat polarisasi, dinyatakan:

$I = I_0 \cos^2 \theta$

dengan
I = Intensitas cahaya terpolarisasi (Cd)
$I = I_0$ adalah intensitas datang (Cd)
Untuk cahaya tidak terpolarisasi melewati alat polarisasi, satu dari komponen-komponennya dihilangkan.Intensitas cahaya yang ditransmisikan, dinyatakan:

$I = ½ I_0$

1. Sebuah prisma memiliki sudut pembias 60°. Indeks bias untuk sinar merah 1,52 dan untuk sinar ungu 1,54. Seberkas cahaya putih jatuh pada salah satu sisi prisma. Apabila dianggap semua cahaya mengalami deviasi minimum, sudut dispersinya adalah . . . .

   A. 1,2° D. 1,5°
   B. 1,8° E. 2°
   C. 3,2°

   Jawaban: B

   • sudut pembias prisma, $\beta = 60°$
   • indeks bias untuk cahaya warna merah, $n_m = 1{,}52$
   • indeks bias untuk cahaya warna ungu, $n_u = 1{,}54$

   Semua cahaya mengalami deviasi minimum, maka dari hukum Snellius didapatkan:

   $$\sin \frac{1}{2}(\delta_m + \beta) = n \sin \frac{1}{2}\beta$$

   Untuk cahaya warna merah:

   $$\sin \frac{1}{2}(\delta_m + \beta) = n \sin \frac{1}{2}\beta$$

   $$\sin \frac{1}{2}(\delta_m + 60°) = 1{,}52 \sin ½ (60°)$$
   $$= 1{,}52 \times \sin 30°$$
   $$= 1{,}52 \times ½ = 0{,}76$$

   $$\frac{1}{2}(\delta_m + 60°) = \text{arc sin } (0{,}76)$$

   $$\frac{1}{2}(\delta_m + 60°) = 49{,}5°$$

   $$\delta_m + 60° = 99°$$

   $$\delta_m = 39°$$

   Untuk cahaya warna ungu:

   $$\sin \frac{1}{2}(\delta_m + \beta) = n \sin \frac{1}{2}\beta$$

$$\sin \frac{1}{2}(\delta_m + 60°) = 1{,}54 \sin ½ (60°)$$
$$= 1{,}54 \times \sin 30°$$
$$= 1{,}54 \times ½$$
$$= 0{,}77$$

$$\frac{1}{2}(\delta_m + 60°) = \text{arc sin } (0{,}77)$$

$$\frac{1}{2}(\delta_m + 60°) = 50{,}4°$$

$$\delta_m + 60° = 100{,}8°$$

$$\delta_m = 40{,}8°$$

Sudut dispersi yang terjadi adalah:

$$\varphi = \delta u - \delta m$$
$$= 40{,}8° \times 39°$$
$$= 1{,}8°.$$

2. Jika seberkas cahaya dilewatkan pada kisi difraksi dengan 5000 celah/cm akan dihasilkan garis terang ke dua dengan sudut 30° terhadap garis normal, berarti panjang gelombang cahaya yang digunakan adalah . . .

A. 2.500 Å
B. 3.400 Å
C. 5.000 Å
D. 8.500 Å
E. 10.000 Å

Jawaban: C

- konstanta kisi, N = 5.000 celah/cm $\rightarrow$ d = (1/5.000) cm = 2×10^{-4} cm = 2×10^4 Å.
- garis terang orde dua, n = 2
- sudut difraksi, $\theta = 30°$

Besar panjang gelombang cahaya yang digunakan adalah:

$d \sin \theta = n \lambda$

$(2 \times 10^4 \text{ Å}) \times \sin 30° = 2 \lambda$

$(2 \times 10^4 \text{ Å}) \times ½ = 2 \lambda$

$$\lambda = \frac{1}{2} 10^4 \text{ Å}$$

$\lambda = \frac{1}{2}$ 10.000 Å

λ = 5.000 Å.

3. Seberkas sinar sejajar monokromatis dengan panjang gelombang 6.000 Å (1 Å = 10^{-10} m) mengenai celah sempit selebar d. Agar pola difraksi orde gelap ke-2 terjadi pada sudut 30°, besar d adalah . . .

A. $2{,}4 \times 10^{-3}$ mm
B. $1{,}8 \times 10^{-3}$ mm
C. $0{,}8 \times 10^{-3}$ mm
D. $2{,}4 \times 10^{-7}$ mm
E. $1{,}8 \times 10^{-7}$ mm

Jawaban: A

- panjang gelombang, λ = 6.000 Å = 6×10^{-7} m = 6×10^{-4} mm
- difraksi minimum, n = 2
- sudut difraksi, $\theta = 30°$

Besar celah sempit pada kasus ini adalah:

$d \sin \theta = n \times \lambda$

$d \sin 30° = 2 \times 6 \times 10^{-4}$ mm

$d \times ½ = 12 \times 10^{-4}$ mm

$d = 24 \times 10^{-4}$ mm

$d = 2{,}4 \times 10^{-3}$ mm.

4. Seberkas cahaya jatuh tegak lurus mengenai dua celah yang berjarak 0,4 mm. Garis terang tingkat ke–3 yang dihasilkan pada layar berjarak 0,5 mm dari terang pusat. Bila jarak layar ke celah 40 cm, maka panjang gelombang cahaya tersebut adalah

A. $1{,}0 \times 10^{-7}$ m
B. $1{,}2 \times 10^{-7}$ m
C. $1{,}7 \times 10^{-7}$ m
D. $2{,}0 \times 10^{-7}$ m
E. $4{,}0 \times 10^{-7}$ m

Jawaban: C

- jarak antar celah, d = 0,4 mm = $0{,}4 \times 10^{-3}$ m
- jarak garis terang orde ke-3 dari terang pusat, p = 0,5 mm = $0{,}5 \times 10^{-3}$ m
- jarak layar ke celah, = 40 cm = 0,4 m
- orde ke-3, n = 3

Panjang gelombang cahaya yang digunakan adalah:

$$n\lambda = \frac{p \times d}{\ell}$$

$$\lambda = \frac{p \times d}{n \times \ell}$$

$$= \frac{(0{,}5 \times 10^{-3}\,\text{m}) \times (0{,}4 \times 10^{-3}\,\text{m})}{3 \times (0{,}4\,\text{m})}$$

$$= 1{,}7 \times 10^{-7}\,\text{m}.$$

5. Untuk menentukan panjang gelombang sinar monokromatik digunakan percobaan Young yang data-datanya sebagai berikut: jarak antara kedua celah = 0,3 mm, jarak celah ke layar = 50 cm dan jarak antara garis gelap ke 2 dengan garis gelap ke 3 pada layar = 1 mm. Panjang gelombang sinar monokromatik tersebut adalah . . .

A. 400 nm
B. 480 nm
C. 500 nm
D. 580 nm
E. 600 nm

Jawaban: E

- jarak antar kedua celah, d = 0,3 mm
- jarak layar ke celah, = 50 cm = 500 mm
- jaran antara garis gelap berurutan, Δp = 1 mm

Panjang gelombang sinar tersebut adalah:

$$\Delta n \times \lambda = \frac{\Delta p \times d}{\ell} \rightarrow \Delta n = 1$$

$$\lambda = \frac{\Delta p \times d}{\ell}$$

$$= \frac{(1\text{mm}) \times (0{,}3\,\text{mm})}{(500\,\text{mm})}$$

$$= 0{,}0006\ \text{mm}$$

$$= 6 \times 10^{-4}\ \text{mm}$$

$$= 6 \times 10^{-4} \times 10^{6}\ \text{nm}$$

$$= 600\ \text{nm}.$$

6. Sinar monokromatis (panjang gelombang di udara λ) yang tiba tegak lurus pada selaput tipis (tebal selaput d dan indeks bias untuk

sinar itu n) dan selaput berada di udara, maka pemantulan sinar itu akan mengalami interferensi minimum (gelap) bila d sama dengan . . .

A. $\frac{\lambda}{2n}, \frac{\lambda}{n}, \frac{3\lambda}{2n}, \ldots$

B. $\frac{\lambda}{4n}, \frac{\lambda}{n}, \frac{3\lambda}{4n}, \ldots$

C. $\frac{\lambda}{2n}, \frac{\lambda}{2n}, \frac{3\lambda}{2n}, \ldots$

D. $\frac{\lambda}{4n}, \frac{\lambda}{2n}, \frac{3\lambda}{4n}, \ldots$

E. $\frac{\lambda}{4n}, \frac{\lambda}{4n}, \frac{3\lambda}{4n}, \ldots$

Jawaban: A

Interferensi minimum (garis gelap) pada lapisan tipis terjadi jika:
2 n d = (2m) ½ λ, untuk m = 0, 1, 2, 3, ...

$d = \frac{2m}{4n} \times \lambda \rightarrow m = 0, 1, 2, 3, \ldots$

- $d_0 = 0$
- $d_1 = \frac{2m}{4n} \times \lambda = \frac{2 \times 1}{4n} \times \lambda = \frac{\lambda}{2n}$
- $d_2 = \frac{2m}{4n} \times \lambda = \frac{2 \times 2}{4n} \times \lambda = \frac{\lambda}{n}$
- $d_3 = \frac{2m}{4n} \times \lambda = \frac{2 \times 3}{4n} \times \lambda = \frac{3\lambda}{2n}$

∴ Jadi, interferensi minimum pada lapisan tipis tersebut terjadi jika

$d = \frac{\lambda}{2n}, \frac{\lambda}{n}, \frac{3\lambda}{2n}, \ldots$

7. Sebuah kisi yang memiliki 3.000 garis tiap cm, kita gunakan untuk menentukan panjang gelombang cahaya. Sudut antara garis pusat dan garis orde 1 (satu) adalah 8° (sin 8° = 0,140). Dari hasil tersebut, panjang gelombang yang digunakan adalah . . .

A. $2{,}70 \times 10^{-8}$ m

B. $3{,}70 \times 10^{-7}$ m

C. $3{,}70 \times 10^{-8}$ m

D. $4{,}63 \times 10^{-8}$ m

E. $4{,}67 \times 10^{-7}$ m

Jawaban: E

- konstanta kisi, N = 3.000 celah/cm $\rightarrow$ d = (1/3.000) cm = $\frac{1}{3} \times 10^3$ cm
- garis terang orde satu, n = 1
- sudut difraksi, $\theta = 8°$

Panjang gelombang cahaya yang digunakan adalah:

$n \lambda = d \sin \theta$

$1 \times \lambda = (0{,}33 \times 10^{-3} \text{ cm}) \times (\sin 8°)$

$\lambda = (\frac{1}{3} \times 10^{-3} \text{ cm}) \times (0{,}140)$

$\lambda = 0{,}0467 \times 10^{-3}$ cm

$\lambda = 0{,}0467 \times 10^{-7}$ m.

8. Seberkas sinar monokromatis dengan panjang gelombang 5×10^{-7} m datang tegak lurus pada kisi. Jika spektrum orde kedua membuka sudut 30° dengan garis normal pada kisi, maka jumlah garis per cm kisi tersebut adalah . . .

A. 2×10^3
B. 4×10^3
C. 5×10^3
D. 2×10^4
E. 5×10^4

Jawaban: C

- panjang gelombang, $\lambda = 5 \times 10^{-7}$ m $= 5 \times 10^{-5}$ cm
- garis terang orde dua, n = 2
- sudut difraksi, $\theta = 30°$

Konstanta kisi yang digunakan adalah:

$d \sin \theta = n \lambda$

$\frac{1}{N} \sin \theta = n \lambda$

$N = \frac{\sin \theta}{n \lambda}$

$N = \frac{\sin 30}{2 \times (5 \times 10^{-5} \text{ cm})}$

$N = \frac{5 \times 10^{-1}}{10^{-4} \text{ cm}}$

$N = 5 \times 10^3$.

9. Jika sudut antara kedua sumbu polarisasi pada kedua polaroid adalah 60°, intensitas cahaya yang diteruskan oleh polaroid pertama dengan intensitas I_0 dan polaroid kedua adalah . . . .

A. $0{,}125\ I_0$
B. $0{,}315\ I_0$
C. $1{,}25\ I_0$
D. $0{,}215\ I_0$
E. $0{,}512\ I_0$

Jawaban: A

- sudut polarisasi, $\theta = 60°$

Intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh masing-masing polaroid adalah:

$I_1 = ½\ I_0$

$I_2 = ½\ I_0 \cos^2(60°)$

$I_2 = 0{,}125\ I_0$.

10. Sebuah cahaya tak terpolarisasi melalui sebuah filter. Filter tersebut diputar 30° terhadap sumbu vertikal. Intensitas cahaya setelah melewati filter tersebut adalah . . .

A. $\frac{1}{3} I_0$
B. $\frac{1}{2} I_0$
C. $\frac{3}{5} I_0$
D. $\frac{3}{4} I_0$
E. $\frac{4}{5} I_0$

Jawaban: D

- intensitas cahaya sebelum melewati filter = I_0
- sudut putar filter terhadap bidang vertikal, $\theta = 30°$

Intensitas cahaya setelah melewati filter adalah:

$I = I_0 \cos^2\theta$

$I = I_0 \times (\cos 30°)^2$

$I = I_0 \times \left(\frac{1}{2}\sqrt{3}\right)^2 =$

$I = \frac{3}{4} I_0$.

LATIHAN SOAL 20

1. Dispersi cahaya dapat terjadi jika seberkas cahaya polikromatik yang sejajar dibiaskan:
   (1) Pada bidang datar yang membatasi dua medium yang berbeda
   (2) Pada prisma
   (3) Pada permukaan sferis yang memisahkan dua medium yang berbeda
   (4) Lensa sferis

   Pernyataan yang benar adalah . . .

   A. (1), (2), dan (3)
   B. (1) dan (3)
   C. (2) dan (4)
   D. (4) saja
   E. Semua benar

2. Selaput tipis air sabun disinari dalam arah tegak lurus dengan permukaan cahaya natrium (λ = 589,3 nm). Jika indeks bias air sabun 1,33, maka ketebalan minimum selaput air sabun yang tampak terang adalah . . .

   A. 294,65 nm
   B. 441,98 nm
   C. 589 nm
   D. 883,95 nm
   E. 1083,98 nm

3. Seberkas cahaya monokromatis dijatuhkan pada dua celah sempit vertikal berdekatan dengan jarak d = 0,01 mm. Pola interferensi yang terjadi ditangkap pada jarak 20 cm dari celah. Diketahui bahwa jarak antara garis gelap pertama di sebelah kiri ke garis gelap pertama di sebelah kanan adalah 7,2 mm. Panjang gelombang berkas cahaya adalah . . .

A. 180 nm
B. 270 nm
C. 360 nm
D. 720 nm
E. 1.800 nm

4. Sebuah berkas sinar yang mempunyai panjang gelombang λ melewati celah ganda yang berjarak 2 mm. Jarak celah ganda ke layar 1 m. Jika untuk interferensi gelap ke-1 berjarak 2 mm ke pusat, maka jarak interferensi gelap ke-3 sampai ke pusat adalah . . .

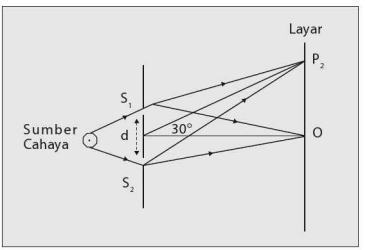
A. 4 mm
B. 6 mm
C. 8 mm
D. 10 mm
E. 12 mm

5. Untuk menentukan panjang gelombang sinar monokromatik, digunakan percobaan Young yang data – datanya sebagai berikut:
   (1) Jarak antara kedua celah = 0,3 mm
   (2) Jarak celah ke layar = 50 cm
   (3) Jarak antara garis gelap ke 2 dengan garis gelap ke–3 pada layar = 1 mm.

   Panjang gelombang sinar monokromatik tersebut adalah . . .

A. 400 mm
B. 480 mm
C. 500 mm
D. 580 mm
E. 600 mm

6. Diagram berikut menggambarkan percobaan Young.



Diketahui d adalah jarak antarcelah dan P_2 adalah garis terang orde 2. Jika panjang gelombang yang digunakan adalah 400 nm (1 nm = 10^{-9} m), maka jarak antarcelah adalah . . .

A. $1{,}6 \times 10^{-1}$ mm
B. $1{,}6 \times 10^{-2}$ mm
C. $2{,}0 \times 10^{-2}$ mm
D. $1{,}6 \times 10^{-3}$ mm
E. $2{,}0 \times 10^{-3}$ mm

7. Dua buah gelombang cahaya koheren berinterferensi antara satu dengan yang lain. Di tempat – tempat terjadinya sinar yang terang, beda fase kedua gelombang tadi sama dengan . . .(n = 1, 2, 3 . . .)

A. $\frac{1}{2}(2n + 1)\,\pi$
B. $(n + 1)\,\pi$
C. $(2n + 1)\,\pi$
D. $2(n + 1)\,\pi$
E. $\frac{1}{2}(n + 1)\,\pi$

8. Jika berkas sinar monokromatik merambat dari suatu medium ke medium lain yang berbeda indeks biasnya maka kita dapatkan bahwa:

(1) Panjang gelombangnya berubah
(2) Frekuensinya berubah
(3) Kecepatannya berubah
(4) Fasenya berubah

Pernyataan yang benar adalah . . .

A. (1), (2), dan (3)
B. (1) dan (3)
C. (2) dan (4)
D. (4) saja
E. Semua benar

9. Kegunaan sinar inframerah dalam kehidupan sehari-hari adalah untuk . . .

A. Remote control televisi
B. Alat pemeriksa keaslian uang
C. Alat sterilisasi
D. Kamera foto
E. Melihat kondisi janin di rahim

10. Cahaya adalah gelombang elektromagnet yang mempunyai sifat – sifat:
    (1) Merupakan gelombang medan listrik dan medan magnet
    (2) Merupakan gelombang longitudinal
    (3) Dapat dipolarisasikan
    (4) Rambatannya memerlukan zat antara

    Pernyataan yang benar adalah . . .

    A. (1), (2), dan (3)
    B. (1) dan (3)
    C. (2) dan (4)
    D. (4) saja
    E. Semua benar

11. Seberkas cahaya dilewatkan pada kisi difraksi dengan 5000 celah/cm dan menghasilkan garis terang ke dua dengan sudut 30^0 ($\sqrt{3} = 1{,}7$) terhadap garis normal. Panjang gelombang cahaya yang digunakan adalah . . .

    A. 2.500 Å
    B. 3.400 Å
    C. 5.000 Å
    D. 8.500 Å
    E. 10.000 Å

12. Hal yang sama antara gelombang cahaya dan gelombang bunyi:
    (1) Sama-sama membutuhkan medium untuk merambat
    (2) Sama-sama gelombang transversal
    (3) Sama-sama gelombang longitudinal
    (4) Sama-sama memiliki frekuensi yang bersesuaian dengan frekuensi sumbernya

    Pernyataan yang benar adalah . . .

    A. (1), (2), dan (3)
    B. (1) dan (3)
    C. (2) dan (4)
    D. (4) saja
    E. semua benar

13. Cahaya monokromatik dari suatu sumber mengenai suatu celah kembar dan menghasilkan pola interferensi dengan jarak antara dua pola terdekat 0,25 cm. Letak layar 100 cm dari celah. Jika jarak celah 0,2 mm, maka panjang gelombang dari cahaya monokromatik tersebut . . .

A. 1.000 Å
B. 2.000 Å
C. 3.000 Å
D. 4.000 Å
E. 5.000 Å

14. Sinar yang dipengaruhi oleh medan magnet dan medan listrik:
(1) Sinar X
(2) Sinar laser
(3) Sinar magma
(4) Sinar katoda
Pernyataan yang benar adalah . . .
A. (1), (2), dan (3)
B. (1) dan (3)
C. (2) dan (4)
D. (4) saja
E. Semua benar

15. Jika seberkas cahaya dilewatkan pada kisi difraksi dengan 5000 celah/cm akan dihasilkan garis terang ke dua dengan sudut 30° ($\sqrt{3} = 1{,}7$) terhadap garis normal, berarti panjang gelombang cahaya yang digunakan adalah . . .
A. 2.500 Å
B. 3.400 Å
C. 5.000 Å
D. 8.500 Å
E. 10.000 Å

16. Celah sempit tunggal dengan lebar a disinari oleh cahaya monokromatis dengan panjang gelombang 5.890 Å. Tentukan lebar celah agar terjadi pola difraksi maksimum orde pertama pada sudut 30°!
A. 5.890 Å
B. 11.780 Å
C. 17.670 Å
D. 23.670 Å
E. 2.945 Å

17. Suatu cahaya monokromatis di udara mempunyai frekuensi 8×10^{14} Hz. Jika cahaya dilewatkan pada sebuah medium dengan indeks bias 1,5 maka:
(1) Cepat rambat cahaya dalam medium 2×10^{8} m/s
(2) Panjang gelombang cahaya dalam medium $2{,}5 \times 10^{-7}$ m
(3) Panjang gelombang di udara $3{,}75 \times 10^{-7}$ m
(4) Frekuensi cahaya dalam medium $5{,}33 \times 10^{14}$ Hz

Pernyataan yang benar adalah . . .

A. (1), (2), dan (3)
B. (1) dan (3)
C. (2) dan (4)
D. (4) saja
E. semua benar

18. Di atas permukaan kaca terdapat air (n = 1,33). Seberkas cahaya menembus batas permukaan kaca-air dengan sudut datang 53° dan mengalami pemantulan internal total. Indeks bias kaca itu adalah… (tg 37^0= ¾)

A. 1,43
B. 1,55
C. 1,66
D. 1,80
E. 1,82

19. Seberkas cahaya jauh tegak lurus mengenai dua celah yang berjarak 0,4 mm. Garis terang tingkat ke–3 yang dihasilkan pada layar berjarak 0,5 mm dari titik pusat difraksi. Jika jarak layar ke celah adalah 40 cm, maka panjang gelombang cahaya tersebut adalah . . .

A. $1,0 \times 10^{-7}$ m
B. $1,2 \times 10^{-7}$ m
C. $1,7 \times 10^{-7}$ m
D. $2,0 \times 10^{-7}$ m
E. $4,0 \times 10^{-7}$ m

20. Pada percobaan Young tentang interferensi cahaya diperoleh data:
(1). Cepat rambat cahaya dalam medium 2×10^8 m/s
(2). Panjang gelombang cahaya dalam medium $2,5 \times 10^{-7}$ m
(3). Panjang gelombang di udara $3,75 \times 10^{-7}$ m
(4). Frekuensi cahaya dalam medium $5,33 \times 10^{14}$ Hz
Jarak antara dua garis gelap dan terang berdekatan pada layar . . .

A. 1,0 mm
B. 1,5 mm
C. 2,0 mm
D. 2,5 mm
E. 5,0 mm

21. Untuk menentukan panjang gelombang sinar monokromatis, digunakan percobaan Young yang data-datanya sebagai berikut. Jarak antara kedua celahnya = 0,3 mm, jarak celah ke layar = 50 cm, dan jarak antara garis gelap ke-2 dengan garis gelap ke-3 pada layar = 1 mm. Panjang gelombang sinar tersebut adalah . . .

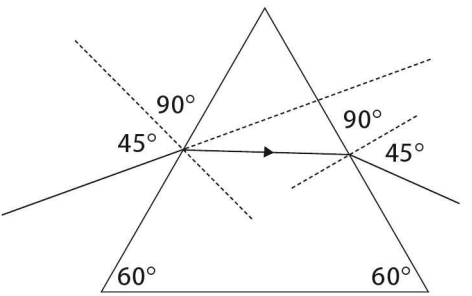
A. 400 nm
B. 480 nm
C. 500 nm
D. 580 nm
E. 600 nm

22. Dua buah lampu berdekatan dengan jarak 122 cm. Diketahui diameter pupil mata 2,5 mm dan panjang gelombang cahaya lampu 5.000 Å. Jarak lampu tersebut ke pengamat yang paling jauh supaya lampu masih dapat dilihat terpisah adalah . . .
A. 2.500 m
B. 3.000 m
C. 3.500 m
D. 4.000 m
E. 5.000 m

23. Jarak dua lampu depan sebuah mobil adalah 122 cm, diamati oleh mata yang memiliki diameter pupil 3 mm. Jika panjang gelombang cahaya yang diterima mata 500 nm, jarak mobil paling jauh supaya masih dapat dibedakan sebagai dua lampu yang terpisah adalah . . .
A. 4.500 m
B. 5.000 m
C. 6.000 m
D. 7.377 m
E. 8.250 m

24. Celah tunggal selebar 0,1 mm disinari berkas cahaya sejajar dengan panjang gelombang 8.000 Å. Pola difraksi yang muncul ditangkap oleh layar pada jarak 1 m dari celah. Jarak antara garis gelap kedua dari garis terang pusat adalah . . .
A. 10 mm
B. 12 mm
C. 16 mm
D. 18 mm
E. 20 mm

25. Perhatikan gambar berikut.



Dengan data tersebut dapat dinyatakan bahwa:

(1) Sudut pembias prisma = 60^0

(2) Indeks bias bahan prisma = $\sqrt{2}$

(3) Deviasi minimum yang terjadi pada sudut sebesar 30^0

(4) Sudut kritis bahan prisma terhadap udara adalah 50^0

Pernyataan yang benar adalah . . .

A. (1), (2), dan (3)
B. (1) dan (3)
C. (2) dan (4)
D. (4) saja
E. semua benar

26. Cahaya monokromatis dengan panjang gelombang 660 nm datang tegak lurus mengenai sebuah kisi difraksi dan menghasilkan pola interferensi pada layar di belakangnya. Jarak antara pita tersebut 6 mm. Jika diinginkan jarak antara pita terdekat sebesar 5 mm, maka perlu digunakan cahaya monokromatis lain dengan panjang gelombang . . .

A. 850 nm
B. 725 nm
C. 650 nm
D. 550 nm
E. 450 nm

27. Suatu cahaya menerangi celah ganda yang memiliki jarak antar celah 0,10 cm. Celah tersebut diatur sedemikian rupa hingga membentuk pola gelap-terang pada layar yang berjarak 60 cm. Ketika pemisahan antar pola terang adalah 0,048 cm, maka panjang gelombang cahaya yang digunakan tersebut adalah . .

A. 2.100 nm
B. 1.080 nm
C. 800 nm
D. 540 nm
E. 440 nm

28. Seberkas cahaya menyinari dua celah identik yang terpisah sejarak 0,10 cm. *Fringes* terang yang terbentuk terpisah sejarak 0,048 cm. Jika *fringes* diamati sejauh 60,0 cm dari layar, maka panjang gelombang cahaya tersebut adalah . . .

A. 2.000 Å
B. 3.000 Å
C. 6.000 Å
D. 8.000 Å
E. 9.000 Å

29. Penguraian cahaya putih terjadi jika berkas:
    (1) Datang tidak tegak lurus ke permukaan kaca krona
    (2) Di biaskan di permukaan pertama prisma yang terbuat dari kaca krona
    (3) Dibiaskan pada permukaan lensa
    (4) Dahaya matahari membentuk pelangi karena pembiasan oleh butir – butir air di udara.

    Pernyataan yang benar adalah . . .

    A. (1), (2), dan (3)
    B. (1) dan (3)
    C. (2) dan (4)
    D. (4) saja
    E. Semua benar

30. Suatu berkas cahaya tak terpolarisasi merambat pada arah sumbu *x* menuju ke sebuah polarisator. Polarisator tersebut memisahkan berkas datang menjadi dua berkas, yaitu berkas *A* yang terpolarisasi arah sumbu *Z* dan berkas *B* yang terpolarisasi pada arah sumbu *y*. Berapa persen perubahan intensitas berkas *B* setelah melewati polarisator?

    A. 25%
    B. 50%
    C. 75%
    D. 0%
    E. 100%

Fisika (bahasa Yunani: fysikós, "alamiah" atau fýsis, "alam") adalah ilmu tentang alam dalam makna yang terluas.

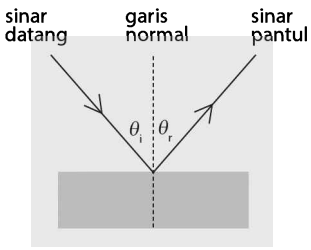
OPTIKA GEOMETRI

21

Optika adalah bagian dari ilmu fisika yang mempelajari tentang cahaya. Optika dibedakan menjadi dua macam kajian, yaitu optika fisis dan optika geometri. Optika geometri mempelajari sifat pemantulan dan pembiasan cahaya, sedangkan optika fisis mempelajari sifat-sifat difraksi, interferensi, dan polarisasi cahaya.

A. HUKUM PEMANTULAN CAHAYA

Hukum Snellius menjelaskan fenomena pemantulan cahaya:



(1) Sinar datang, garis normal, dan sinar pantul terletak pada satu bidang datar.

(2) sudut datang besarnya sama dengan sudut pantul ($\theta_i = \theta_r$)

a. Pemantulan Cahaya pada Cermin Datar

Sifat-sifat cermin datar:

- sudut datang sama dengan sudut pantul
- jari-jari kelengkungan, $R = \infty$
- bayangan bersifat maya, tegak, dan sama besar
- jarak bayangan ke cermin sama dengan jarak benda ke cermin ($s' = s$)

- bentuk dan ukuran bayangan sama dengan bentuk benda
- jumlah bayangan yang terbentuk oleh dua cermin yang mengapit sudut α adalah:

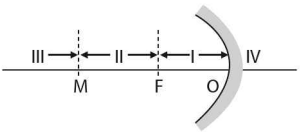
$$n = \frac{360}{\alpha} - m \begin{cases} m = 1, \text{jika} : \frac{360}{\alpha} = \text{genap} \\ m = 0, \text{jika} : \frac{360}{\alpha} = \text{ganjil} \end{cases}$$

- panjang minimum cermin datar yang dibutuhkan untuk melihat seluruh obyek dengan tinggi h, adalah: $t = \frac{1}{2} h$.

h. Pemantulan Cahaya pada Cermin Cekung

Sifat-sifat cermin cekung:

- jari-jari kelengkungan, R = positif
- panjang fokus cermin, f = positif



- berlaku ketentuan: ruang benda + ruang bayangan = 5, dengan sifat bayangan sebagai berikut:
  - benda di ruang I, bayangan berada di ruang IV, sifat bayangan: maya, tegak, diperbesar.
  - benda di ruang II, bayangan berada di ruang III, sifat bayangan: nyata, terbalik, diperbesar.
  - benda di ruang III, bayangan berada di ruang II, sifat bayangan: nyata, terbalik, diperkecil.
- persamaan pada cermin cekung:

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} = \frac{2}{R} \text{ dan } M = -\frac{s'}{s} = \left|\frac{h'}{h}\right|$$

dengan,
s = jarak benda (m)
s' = jarak bayangan (m)

f = jarak/panjang fokus (m)
R = jari-jari kelengkungan cermin (m)
h = tinggi benda (m)
h' = tinggi bayangan (m)
M = perbesaran bayangan
Perjanjian tanda:

– bayangan di depan cermin (bayangan nyata) = s' bertanda positif.
– bayangan di belakang cermin (bayangan maya) = s' bertanda negatif.

c. Pemantulan Cahaya pada Cermin Cemhung

Sifat-sifat cermin cembung:

- jari-jari kelengkungan, R = negatif
- panjang fokus cermin, f = negatif
- bayangan yang dihasilkan besifat: maya, tegak, dan diperkecil.

$$\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{f}=\frac{2}{R} \text{ dan } M=-\frac{s'}{s}=\left|\frac{h'}{h}\right|$$

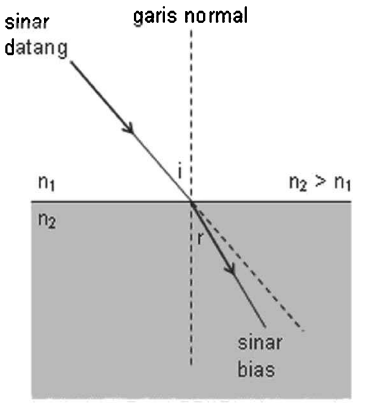
dengan,
s = jarak benda (m)
s' = jarak bayangan (m)
f = jarak/panjang fokus (m)
R = jari-jari kelengkungan cermin (m)
h = tinggi benda (m)
h' = tinggi bayangan (m)
M = perbesaran bayangan
Perjanjian tanda:

– bayangan di depan cermin (bayangan nyata) = s' bertanda positif.
– bayangan di belakang cermin (bayangan maya) = s' bertanda negatif.

B. PEMBIASAN CAHAYA

Pembiasan cahaya adalah peristiwa pembelokan arah rambat cahaya ketika cahaya merambat dari satu medium ke medium lain.

Hukum pembiasan Snellius:



- Sinar datang, garis normal, dan sinar bias terletak pada satu bidang datar.
- Sinar yang datang dari medium yang kurang rapat menuju medium yang lebih rapat ($n_1 < n_1$) akan dibiaskan mendekati garis normal.
- Sinar yang datang dari medium yang lebih rapat ke medium yang kurang rapat ($n_1 > n_2$) akan dibiaskan menjauhi normal.
- Sinar yang datang tegak lurus bidang batas tidak dibiaskan, melainkan diteruskan.

Rumusan hukum pembiasan Snellius

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

Pada pembiasan berlaku juga rumusan berikut:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

dengan,

i = sudut datang

r = sudut bias

n_1 = indeks bias medium 1

n_2 = indeks bias medium 2

v_1 = cepat rambat cahaya pada medium 1

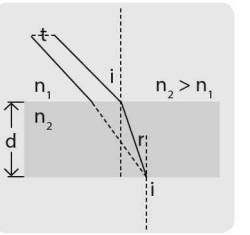
v_2 = cepat rambat cahaya pada medium 2

λ_1 = panjang gelombang cahaya pada medium 1

λ_2 = panjang gelombang cahaya pada medium 2

a. Pemhiasan pada Kaca Planparalel

Besarnya pergeseran (t) sinar keluar dari kaca planparalel terhadap sinar yang datang dirumuskan:

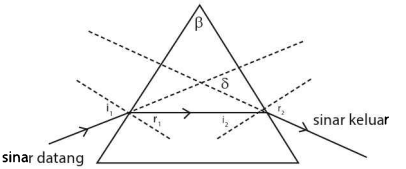


$$t = \frac{d \times \sin(i - r)}{\cos r}$$

dengan,
d = tebal kaca planparalel (m)
t = pergeseran sinar (m)
i = sudut datang
r = sudut bias

h. Pemhiasan pada Prisma

Sudut deviasi: $\delta = i_1 + r_2 - \beta$
Deviasi minimum terjadi, jika: $i_1 = r_2$ dan $r_1 = i_2$, sehingga diperoleh:



$$n_1 \sin \tfrac{1}{2}(\beta + \delta_m) = n_2 \sin \tfrac{1}{2}\beta$$

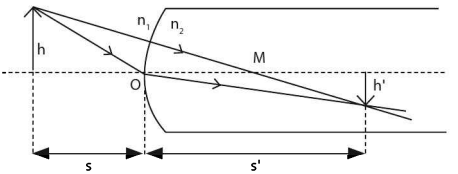
untuk $\beta \leq 10°$ berlaku (deviasi minimum):

$$\delta_m = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \times \beta$$

dengan, β adalah sudut pembias prisma.

c. Pemhiasan pada Didang Lengkung (Sferis)

Berikut adalah sketsa pembiasan cahaya pada bidang lengkung.



Pada pembiasan cahaya pada bidang lengkung berlaku persamaan-persamaan berikut:

$$\frac{n_1}{s}+\frac{n_2}{s'}=\frac{n_2-n_1}{R}$$

$$M=\frac{h'}{h}=\left|\frac{s'}{s}\times\frac{n_1}{n_2}\right|$$

Dengan,
s = jarak benda ke pusat optik lensa
s' = jarak bayangan ke pusat optik lensa
n_1 = indeks bias medium 1
n_2 = indeks bias medium 2
h = tinggi benda (m)
h' = tinggi bayangan (m)
M = perbesaran bayangan
R = jari-jari kelengkungan lensa (m)
dengan ketentuan sebagai berikut:

- Tanda R
  - → bila permukaan bidang batas cembung dilihar dari arah sinar datang, maka R positif.
  - → bila permukaan bidang batas cekung dilihar dari arah sinar datang, maka R negatif.
- Tanda s'
  - → bila bayangan nyata, maka s' positif.
  - → bila bayangan maya, maka s' negatif.

Jika permukaannya bidang datar (R = ∞), maka persamaan yang berlaku untuk pembiasan cahaya pada bidang datar adalah:

$$\frac{n_1}{s}+\frac{n_2}{s'}=\frac{n_2-n_1}{\infty}$$

$$\frac{n_1}{s}+\frac{n_2}{s'}=0$$

$$\frac{n_1}{s}=-\frac{n_2}{s'}\text{ atau }s'=-\frac{n_2}{n_1}\times s$$

d. Pembiasan pada Lensa Lengkung (Lensa Cekung dan Lensa Cembung)

Pada lensa cembung dan lensa cekung berlaku:

$$\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{f} \text{ dan } M=\frac{h'}{h}=\left|\frac{s'}{s}\right|$$

dengan,
s = jarak benda ke pusat optik lensa
s' = jarak bayangan ke pusat optik lensa
h = tinggi benda
h' = tinggi bayangan
M = perbesaran bayangan
Perjanjian tanda:

- untuk benda
  - benda nyata (di depan lensa): s bertanda positif
  - benda maya (di belakang lensa): s bertanda negatif
- untuk bayangan
  - bayangan nyata (di belakang lensa): s' bertanda positif
  - benda maya (di depan lensa): s' bertanda negatif
- untuk fokus
  - lensa cembung (konvergen): f bertanda positif
  - lensa cekung (divergen): f bertanda negatif

Kekuatan lensa merupakan kemampuan suatu lensa untuk mengumpulkan atau menyebarkan berkas cahaya yang diterimanya.

$$P=\frac{1}{f}$$

dengan,
P = kekuatan lensa (dioptri)
f = jarak fokus lensa (meter)
Jika suatu lensa ditempatkan pada suatu medium yang berbeda, maka kekuatan lensa juga akan berbeda (berubah). Untuk menentukan jarak fokus suatu lensa jika ditempatkan pada suatu

medium, gunakan persamaan berikut:

$$\frac{1}{f}=\left(\frac{n_L-n_m}{n_m}\right)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$$

dengan,
n_L = indeks bias lensa
n_m = indeks bias medium
R_1, R_2 = jari-jari kelengkungan lensa (meter)
dengan ketentuan:

- cembung-cembung (bikonveks): R_1 (+), R_2 (+)
- datar-cembung (plan-konveks): R_1 (+), R_2 (–)
- cembung-cekung (konkaf-konveks): R_1 (–), R_2 (+)
- cekung-rangkap (bikonkaf): R_1 (–), R_2 (–)
- cekung-datar (plan-konkaf): R_1 (∞), R_2 (–)
- cekung-cembung (plan-konkaf): R_1 (+), R_2 (–)

C. ALAT-ALAT OPTIK

a. Mata

Sebuah benda dapat dilihat oleh mata jika benda terletak pada jangkauan penglihatan, yaitu di antara titik dekat (***punctum proximum/PP***) dan titik jauh mata (***punctum remotum/PR***). Mata normal (emeropi):

- titik jauh terletak pada jarak tak hingga (PR = ∞)
- titik terdekatnya adalah 25 cm (PP = Sn = 25 cm)

Macam-macam kelainan mata, antara lain:

1. *Miopi (rabun jauh)*
   Penderita rabun jauh tidak dapat melihat dengan jelas benda-benda yang letaknya jauh. Agar dapat melihat benda-benda pada jarak tak terhingga (∞), seperti mata normal, penderita rabun jauh harus menggunakan lensa kacamata yang menghasilkan bayangan di depan lensa pada jarak yang sama dengan titik terjauh penderita (s' = titik -terjauh penderita).
   Penderita rabun jauh dapat ditolong dengan menggunakan

kacamata berlensa cekung (lensa negatif)

$$P = \frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

dengan,

s = titik terjauh mata normal, yaitu ∞

s' = titik terjauh penderita (bernilai -, sebab bayangan yang terlihat maya (m)

P = Kekuatan lensa (dioptri)

2. *Hipermetropi (rabun dekat)*

Penderita rabun dekat tidak dapat melihat dengan jelas benda-benda yang letaknya dekat, meskipun telah berakomodasi maksimal. Agar dapat melihat benda pada jarak normal, maka lensa kacamata harus menghasilkan bayangan di depan lensa pada jarak yang sama dengan titik terdekat penderita (s' = – titik dekat penderita).

Penderita rabun dekat dapat ditolong dengan menggunakan kacamata berlensa cembung (lensa positif).

$$P = \frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

dengan,

P = Kekuatan lensa (dioptri)

s = titik dekat mata normal, yaitu (25 cm)

s' = titik terdekat penderita (bernilai -, sebab bayangan yang terlihat maya (m)

3. *Presbiopi (mata tua)*

Kemampuan lensa mata mata untuk berakomodasi sudah berkurang, sehingga tidak jelas melihat benda yang jauh maupun dekat. Penderita ini dapat ditolong dengan menggunakan kacamata rangkap (positif dan negatif).

- Kacamata bagian atas lensa cekung.
- Kacamata bagian bawah lensa cembung.

h. Kaca Pemhesar (Lup)

Sifat-sifat bayangan yang dihasilkan lup adalah maya, tegak, dan diperbesar.

Perbesaran sudut (angular) lup dengan mata tak berakomodasi (s = f, s' = ∞) adalah:

$$M = \frac{s_n}{f}$$

dengan,

M = perbesaran sudut lup

sn = jarak titik dekat pengamat

f = jarak fokus

Perbesaran sudut lup dengan mata berakomodasi maksimum (s' = $-s_n$) adalah:

$$M = \frac{s_n}{f} + 1$$

Perbesaran sudut lup dengan mata berakomodasi pada jarak x di depan mata (s' = -x) adalah:

$$M = \frac{s_n}{f} + \frac{s_n}{x}$$

c. Mikroskop

Mikroskop merupakan peralatan optik yang digunakan untuk melihat benda-benda yang berukuran sangat kecil dan terdiri atas dua lensa cembung, yaitu lensa obektif dan lensa okuler.

- bayangan yang dibentuk oleh lensa obyektif bersifat nyata, terbalik, dan diperbesar.
- bayangan yang dibentuk oleh lensa okuler bersifat maya, terbalik, dan diperbesar.

1. *Pengamatan Mikroskop Tanpa Akomodasi*
   - Perbesaran bayangan oleh lensa obyektif adalah:

$$M_{OB} = \frac{s'_{OB}}{s_{OB}}$$

- Perbesaran bayangan oleh lensa okuler adalah:

$$M_{OK} = \frac{s'_{OK}}{s_{OK}} = \frac{s_n}{f_{OK}}$$

- Perbesaran mikroskop adalah:

$$M_{TOT} = |M_{OB} \times M_{OK}| = \left| \frac{s'_{OB}}{s_{OB}} \times \frac{s_n}{f_{OK}} \right|$$

- Panjang mikroskop adalah jarak lensa obektif dengan lensa okuler

$$d = s'_{OB} + s_{OK} = s'_{OB} + f_{OK}$$

2. *Pengamatan Mikroskop dengan Akomodasi Maksimum*
   - Perbesaran bayangan oleh lensa obyektif adalah:

$$M_{OB} = \frac{s'_{OB}}{s_{OB}}$$

   - Perbesaran bayangan oleh lensa okuler adalah:

$$M_{OK} = \frac{s_n}{f_{OK}} + 1$$

   - Perbesaran mikroskop adalah:

$$M_{TOT} = |M_{OB} \times M_{OK}| = \left| \frac{s'_{OB}}{s_{OB}} \times \left(\frac{s_n}{f_{OK}} + 1 \right) \right|$$

   - Panjang mikroskop adalah jarak lensa obektif dengan lensa okuler

$$d = s'_{OB} + s_{OK}$$

d. Teropong atau Teleskop

Teropong atau ***teleskop*** adalah alat optik yang digunakan untuk melihat benda-benda yang sangat jauh agar tampak lebih dekat dan jelas.

1. *Teropong Bintang*
   a) Pengamatan Teropong dengan Mata Tak Berakomodasi

$$\text{Pembesaran: } M = \frac{s'_{OB}}{s_{OK}} = \frac{f_{OB}}{f_{OK}}$$

$$\text{Panjang teropong : } d = f_{OB} + f_{OK}$$

   b) Pengamatan Teropong dengan Mata Berakomodasi Maksimum

$$\text{Pembesaran: } M = \frac{s'_{OB}}{s_{OK}} = \frac{f_{OB}}{s_{OK}} = \frac{f_{OB}}{f_{OK}} \cdot \left(\frac{s_n + f_{OK}}{s_n} \right)$$

$$\text{Panjang teropong : } d = f_{OB} + f_{OK}$$

2. *Teropong Bumi*
   a) Pengamatan Teropong Bumi dengan Mata Tak Berakomodasi

$$\text{Pembesaran: } M = \frac{f_{OB}}{f_{OK}}$$

$$\text{Panjang teropong : } d = f_{OB} + 4f_{PB} + f_{OK}$$

   dengan, f_{PB} = jarak fokus lensa pembalik

   b) Pengamatan Teropong Bumi dengan Mata Berakomodasi Maksimum

$$\text{Pembesaran: } M = \frac{f_{OB}}{f_{OK}} = \frac{s_n + f_{OK}}{s_n}$$

$$\text{Panjang teropong : } d = s'_{OB} + 4f_{PB} + f_{OK}$$

3. *Teropong Panggung*

   Teropong panggung digunakan untuk melihat pertunjukan yang ditampilkan di panggung.

$$\text{Pembesaran: } M = \frac{f_{OB}}{f_{OK}}$$

$$\text{Panjang teropong : } d = f_{OB} + f_{OK}$$

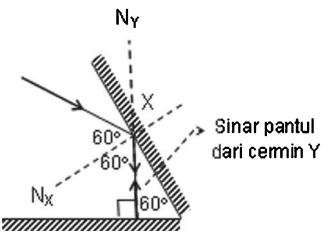
CONTOH SOAL DAN PEMBAHASAN

1. Dua cermin datar X dan Y saling berhadapan dan membentuk sudut 60°. Seberkas sinar menuju X dengan sudut 60° hingga dipantulkan ke Y. Sinar tersebut meninggalkan Y dengan sudut . . .

   A. 0°
   B. 30°
   C. 45°
   D. 60°
   E. 90°

   Jawaban: A

   Sketsa kasus:
   Perhatikan sketsa di samping.
   Sinar meninggalkan cermin X (sinar pantul) menuju cermin Y secara tegak lurus. Dari hukum pantulan diperoleh bahwa sinar datang tegak lurus akan dipantulkan kembali secara tegak lurus. Dengan demikian, sinar meninggalkan cermin Y dengan sudut pantul 0°.



2. Sebuah benda diletakkan pada jarak 20 cm di depan cermin cembung dengan jarak fokus 20 cm. Letak dan sifat bayangan yang terbentuk adalah . . .

   A. 10 cm, di depan cermin, tegak, dan maya
   B. 10 cm, di belakang cermin, tegak, dan maya
   C. 20 cm, di belakang cermin, terbalik, dan maya
   D. 20 cm, di belakang cermin, terbalik, dan nyata
   E. 30 cm, di depan cermin, tegak, dan nyata

   Jawaban: B

   - jarak benda dari cermin, s = 20 cm
   - jarak fokus cermin cembung, f = –20 cm

Bayangan yang terbentuk oleh cermin cembung tersebut adalah:

$$s' = \frac{s \times f}{s - f}$$

$$= \frac{(20\,cm) \times (-20\,cm)}{20\,cm - (-20\,cm)}$$

$$= \frac{-400}{40}\,cm$$

= -10 cm $\rightarrow$ tanda -, berarti bayangan terbentuk di belakang cermin (maya)

Perbesaran bayangannya adalah:

$$M = -\frac{s'}{s}$$

$$= -\frac{-10\,cm}{20\,cm}$$

$= \frac{1}{2}$ kali $\rightarrow$ tanda +, berarti bayangan tegak dan diperkecil kali benda mula-mula.

Dengan demikian, bayangan yang dihasilkan terletak 10 cm dibelakang cermin, bersifat tegak, dan diperkecil.

3. Seorang siswa dengan tinggi badannya 170 cm berdiri tegak di muka sebuah cermin datar yang tergantung pada sebuah dinsing yang berjarak 1 meter dari siswa tersebut. Letak mata siswa itu berada pada ketinggian 160 cm dari lantai. Agar siswa itu dapat melihat jelas seluruh kepalanya maka jarak maksimum bagian atas cermin dari lantai adalah . . .

A. 160 cm
B. 165 cm
C. 170 cm
D. 175 cm
E. 180 cm

Jawaban: B

- tinggi badan siswa, h0 = 170 cm
- posisi mata siswa dari lantai, h = 160 cm

Bagian seluruh kepala di atas mata siswa tersebut sepanjang:

$h_1 = h_0 - h$

$= 170 \text{ cm} - 160 \text{ cm} = 10 \text{ cm}$

Agar dapat melihat jelas seluruh kepalanya jarak maksimum bagian atas cermin dari lantai adalah:

$= h + (½ \times h1)$

$= 160 \text{ cm} + (½ \times 10 \text{ cm}) = 165 \text{ cm}.$

4. Suatu berkas cahaya dengan panjang gelombang $6{,}0 \times 10^{-5}$ cm, masuk dari udara ke dalam balok kaca yang indeks biasnya 1,5. Panjang gelombang cahaya di dalam kaca adalah . . .

A. $9{,}0 \times 10^{-5}$ cm
B. $7{,}5 \times 10^{-5}$ cm
C. $6{,}0 \times 10^{-5}$ cm
D. $4{,}5 \times 10^{-5}$ cm
E. $4{,}0 \times 10^{-5}$ cm

Jawaban: E

- panjang gelombang di udara, $\lambda_1 = 6{,}0 \times 10^{-5}$ cm
- indeks bias udara, $n_1 = 1$
- indeks bias kaca, $n_2 = 1{,}5$

Panjang gelombang cahaya di dalam kaca dapat ditentukan dari hukum Snellius, yaitu:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

$$\lambda_2 = \frac{n_1}{n_2} \times \lambda_1$$

$$= \frac{1}{1{,}5} \times 6{,}0 \times 10^{-5} \text{ cm}$$

$$= 4{,}0 \times 10^{-5} \text{ cm}.$$

5. Sebuah prisma kaca berada di udara. Pada prisma itu datang seberkas sinar dengan sudut datang 45° dan sudut pembias prisma 60°. Jika terjadi deviasi minimum, maka indeks bias prisma tersebut adalah . . .

A. 1,2
B. 1,3
C. 1,4
D. 1,5
E. 1,6

Jawaban: C

- sudut datang sinar, $i_1 = 45°$
- sudut pembias prisma, $\beta = 60°$
- indeks bias udara, $n_1 = 1$

Terjadi deviasi minimum, maka berlaku:

$\delta m = 2i_1 - \beta = 2 \times 45° - 60° = 90° \times 60° = 30°$

Indeks bias prisma tersebut adalah:

$n_1 \sin \frac{1}{2}(\beta + \delta_m) = n_2 \sin \frac{1}{2}\beta$

$1 \times \sin \frac{1}{2}(60 + 30) = n_2 \sin \frac{1}{2} \times 60$

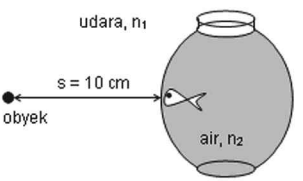
$n_2 = \frac{\sin 45}{\sin 30}$

$= \frac{\frac{1}{2}\sqrt{2}}{\frac{1}{2}}$

$= \sqrt{2}$.

$\approx 1{,}4$.

6. Seekor ikan di dalam mangkuk bulat berisi air dengan indeks bias, n = 1,33. Jari-jari mangkuk 15 cm. Ikan melihat kucing duduk di atas meja dengan jarak hidungnya 10 cm dari mangkuk. Di mana bayangan hidung kucing tersebut dan berapa perbesarannya?



A. 19,5 cm ; 1,29 kali
B. 17,1 cm ; 1,29 kali
C. -17,1 cm ; 1,19 kali
D. -17,1 cm ; 1,29 kali
E. -19,5 cm ; 1,29 kali

Jawaban: D

Ingat!

Tanda R

→ bila permukaan bidang batas cembung dilihar dari arah sinar datang, maka R positif.

→ bila permukaan bidang batas cekung dilihar dari arah sinar datang, maka R negatif.

- jari-jari kelengkungan mangkok, R = 15 cm
- jarak obyek (hidung kucing) dari mangkok, s = 10 cm

- indeks bias udara (obyek berada), $n_1 = 1$
- indeks bias air (pengamat), $n_2 = 1{,}33$

Sketsa kasus:

Letak bayangan hidung kucing adalah:

$$\frac{n_1}{s} + \frac{n_2}{s'} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

$$\frac{1}{10\,cm} + \frac{1{,}33}{s'} = \frac{1{,}33 - 1}{15\,cm}$$

$$\frac{1{,}33}{s'} = \frac{0{,}33}{15\,cm} - \frac{1}{10\,cm}$$

$$\frac{1{,}33}{s'} = \frac{0{,}66 - 3}{30\,cm}$$

$$\frac{1{,}33}{s'} = \frac{-2{,}34}{30\,cm}$$

$$s' = -\frac{39{,}9}{2{,}34}$$

$s' = -17{,}1$ cm $\rightarrow$ tanda -, berarti bayangan bersifat maya.

Perbesarannya adalah:

$$M = \left|\frac{s'}{s} \times \frac{n_1}{n_2}\right| = \left|\frac{-17{,}1}{10} \times \frac{1}{1{,}33}\right| = 1{,}29 \text{ kali.}$$

7. Sebuah benda yang panjangnya 30 cm diletakkan di sumbu utama lensa konvergen yang jarak fokusnya 10 cm. Ujung benda terdekat pada lensa jaraknya 20 cm dari lensa. Panjang bayangan yang terjadi adalah . . .

A. 5,0 cm
B. 7,5 cm
C. 10,0 cm
D. 12,5 cm
E. 15,0 cm

Jawaban: B

- panjang fokus lensa cembung, $f = +10$ cm
- jarak ujung I benda, $s_A = 20$ cm
- jarak ujung II benda, $s_B = 20$ cm + 30 cm = 50 cm

Bayangan yang terbentuk masing-masing ujung benda adalah sebagai berikut.

$$s'_A = \frac{s_A \times f}{s_A - f} = \frac{(20\,cm) \times (10\,cm)}{20\,cm - 10\,cm} = 20\ cm.$$

$$s'_B = \frac{s_B \times f}{s_B - f} = \frac{(50\,cm) \times (10\,cm)}{50\,cm - 10\,cm} = 12{,}5\ cm$$

$\therefore$ Jadi, panjang bayangan benda tersebut adalah:

$s' = s'_A - s'_B$

$= 20\ cm \times 12{,}5\ cm$

$= 7{,}5\ cm.$

8. Seorang penderita miopi mempunyai titik jauh 2 m. Kekuatan lensa kacamata yang diperlukan agar orang tersebut seperti orang normal adalah . . .

A. 2 dioptri
B. 1 dioptri
C. ½ dioptri
D. -½ dioptri
E. -1 dioptri

Jawaban: D

- titik terjauh penderita miopi, s' = -2 m
- titik jauh mata normal, s = ∞

Agar dapat melihat benda-benda pada jarak tak berhingga (∞) seperti mata normal, maka penderita miopi harus menggunakan lensa kacamata yang menghasilkan bayangan di depan lensa pada jarak yang sama dengan titik terjauh pernderita.

Kekuatan lensanya adalah:

$$P = \frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

$$P = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{-2m}$$

$$P = -\frac{1}{2}\ \text{dioptri.}$$

9. Dua buah lensa tipis dengan indeks bias sama 1,5 memiliki jarak fokus 5 cm dan 20 cm jika keduanya dilekatkan (digabung) kemudian dicelupkan ke dalam air dengan indeks bias $\frac{4}{3}$, maka jarak fokus lensa gabungan dalam air adalah . . .

A. 4 cm
B. 8 cm
C. 16 cm
D. 25 cm
E. 100 cm

Jawaban: C

- indeks dua buah bias lensa identik, $n_L = 1{,}5$
- jarak fokus lensa I, $f_1 = 5$ cm
- jarak fokus lensa II, $f_2 = 20$ cm
- indeks bias udara, $n_u = 1$
- indeks bias air (medium 2), $n_a = \frac{4}{3}$

Jarak fokus lensa gabungan di udara adalah:

$$f_{TOT} = \frac{f_1 \times f_2}{f_1 + f_2} = \frac{(5\,cm) \times (20\,cm)}{5\,cm + 20\,cm} = 4 \text{ cm.}$$

Jarak fokus lensa gabungan di uadar = 4 cm, maka:

$$\frac{1}{f_{TOT}} = \left(\frac{n_L - n_u}{n_u}\right)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

$$\frac{1}{4} = \left(\frac{1{,}5 - 1}{1}\right)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

$$\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = \frac{1}{2}$$

Jarak fokus lensa gabungan di air adalah:

$$\frac{1}{f_{Ta}} = \left(\frac{n_L - n_a}{n_a}\right)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

$$\frac{1}{f_{Ta}} = \left(\frac{\frac{3}{2} - \frac{4}{3}}{\frac{4}{3}}\right) \times \frac{1}{2}$$

$$\frac{1}{f_{Ta}} = \frac{1}{8} \times \frac{1}{2}$$

$f_{TA} = 8 \times 2$

$f_{TA} = 16$ cm

$\therefore$ Jadi, panjang fokus lensa gabungan di air sebesar 16 cm.

10. Sebuah mikroskop mempunyai lensa objektif dan okuler yang jarak fokusnya masing-masing 0,8 cm dan 5 cm. Seseorang memasang preparat 10 mm di depan lensa objektif untuk mengamati melalui lensa okuler tanpa akomodasi. Bila objek preparat mempunyai panjang 0,5 mm dan jarak baca normal orang tersebut 25 cm. maka panjang objek tersebut akan terlihat menjadi . . .

A. 7,5 mm
B. 10,0 mm
C. 12,5 mm
D. 15,0 mm
E. 20,0 mm

Jawaban: B

- jarak fokus lensa obyektif, $f_{OB} = 0{,}8$ cm
- jarak benda terhadap lensa obyektif, $s_{OB} = 10$ mm $= 1$ cm
- jarak fokus lensa okuler, $f_{OK} = 5$ cm
- jarak titik terdekat mata pengamat, $s_n = 25$ cm
- panjang preparat, $p = 0{,}5$ mm

Bayangan yang dibentuk oleh lensa obyektif:

$$s'_{OB} = \frac{f_{OB} \times s_{OB}}{s_{OB} - f_{OB}}$$

$$= \frac{(0{,}8\,\text{cm}) \times (1\,\text{cm})}{1\,\text{cm} - 0{,}8\,\text{cm}}$$

$$= \frac{0{,}8}{0{,}2}\,\text{cm} = 4\,\text{cm}.$$

Mata tidak berakomodasi, maka perbesaran mikroskop adalah:

$$M_{TOT} = \left| \frac{s'_{OB}}{s_{OB}} \times \frac{s_n}{f_{OK}} \right|$$

$$= \left| \frac{4\,\text{cm}}{1\,\text{cm}} \times \frac{25\,\text{cm}}{5\,\text{cm}} \right|$$

$$= 4 \times 5 \text{ kali}$$

$$= 20 \text{ kali}.$$

Panjang obyek bayangan preparat adalah:

$$p' = M_{TOT} \times p$$

$$= 20 \times 0{,}5 \text{ mm}$$

$$= 10 \text{ mm}.$$

LATIHAN SOAL 21

1. Sebuah benda terletak pada jarak 15 cm di depan sebuah cermin cekung yang berjari-jari 20 cm. Sifat bayangan yang terbentuk oleh cermin adalah . . .
   A. Nyata, terbalik, diperbesar
   B. Nyata, terbalik, diperkecil
   C. Nyata, tegak, diperbesar
   D. Maya, tegak, diperbesar
   E. Maya, tegak, diperkecil

2. Sebuah cermin cembung memiliki jarak fokus 8 cm. Jika jarak bayangan ke cermin 6 cm, maka jarak benda ke cermin adalah . . .
   A. 48 cm
   B. 24 cm
   C. 14 cm
   D. 6 cm
   E. 2 cm

3. Sebuah benda berada 25 cm di depan cermin cekung. Jika bayangan nyata dengan tinggi 4 kali tinggi benda, maka jarak fokus cermin adalah . . .
   A. 5 cm
   B. 10 cm
   C. 20 cm
   D. 25 cm
   E. 40 cm

4. Cepat rambat cahaya di udara sebesar $c = 3 \times 10^8$ m/s. Jika di dalam kaca kecepatannya menjadi $1{,}8 \times 10^8$ m/s, maka indeks bias kaca adalah . . .

A. 0,60
B. 1,33
C. 1,45
D. 1,67
E. 1,80

5. Benda setinggi *h* diletakkan pada jarak 4 cm di depan cermin cekung yang berjari-jari kelengkungan 14 cm. Sifat bayangan benda adalah . . .
A. Nyata, tegak, setinggi h
B. Nyata, terbalik, diperbesar
C. Nyata, tegak, diperkecil
D. Maya, tegak, setinggi *h*
E. Maya, tegak, diperbesar

6. Seberkas cahaya monokromatik datang pada prisma yang mempunyai sudut pembias 30° . Pada prisma tersebut terjadi deviasi minimum dimana cahaya meninggalkan prisma dengan sudut bias 25°. Besarnya sudut datang cahaya pada prisma adalah . . ..
A. 60°
B. 45°
C. 30°
D. 25°
E. 15°

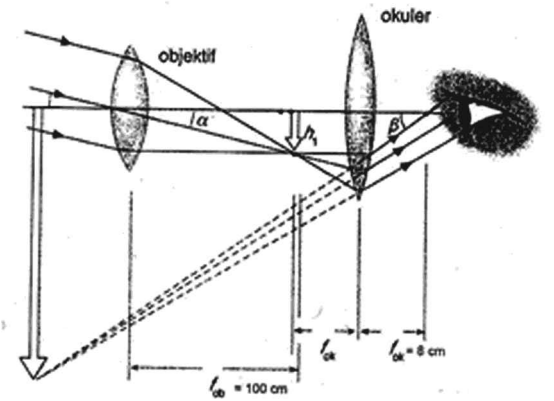
7. Cahaya mengenai salah satu permukaan kaca tebal dengan sudut datang 60°. Indeks bias kaca tersebut 1,5. Dengan sudut berapakah (relatif terhadap normal) cahaya tersebut keluar dari permukaan kaca lainnya?
A. 20,5°
B. 35,2°
C. 60°
D. 75°
E. 90°

8. Benda berdiri tegak pada jarak 30 cm di depan lensa cekung. Lensa cekung tersebut menghasilkan bayangan maya pada jarak 12 cm. Fokus lensa tersebut adalah . . .
A. - 40,0 cm
B. - 20,0 cm
C. - 8,6 cm
D. 8,6 cm
E. 20,0 cm

9. Dua buah cermin datar *X* dan *Y* saling berhadapan dan membentuk sudut 60°. Seberkas sinar menuju *X* dengan sudut datang 60° hingga dipantulkan ke *Y*. Sinar tersebut meninggalkan *Y* dengan sudut pantul . . .

A. 0°
B. 30°
C. 45°
D. 60°
E. 90°

10. Perhatikan gambar berikut!



Perbesaran teropong untuk mata tidak berakomodasi berdasarkan gambar tersebut adalah . . .

a. 14,5 kali
b. 12,5 kali
c. 11,5 kali
D. 10,5 kali
e. 9,5 kali

11. Sebuah prisma deviasi minimumnya 30°. Jika sudut pembias prisma 60°, maka indeks bias prisma adalah . . .

A. 0,7
B. 1
C. 1,4
D. 1,7
E. 2,2

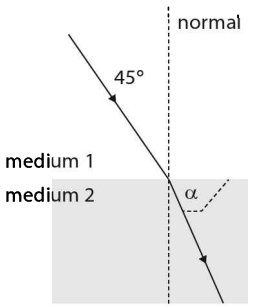
12. Seberkas sinar mengenai mengenai sistem optik yang terdiri atas dua cermin datar yang saling tegak lurus. Setelah berkas sinar mengalami pemantulan dua kali, maka arah berkas sinar . . .

A. Menuju sinar datang
B. Memotong sinar datang
C. Tegak lurus sinar datang
D. Sejajar dan berlawanan dengan arah sinar datang
E. Sejajar dan searah dengan sinar datang

13. Seseorang hanya mampu melihat benda terjauh dengan jelas pada jarak 25 cm dari matanya. Kekuatan lensa kacamata yang harus dipakainya adalah . . .

A. $-\frac{5}{4}$ dioptri
B. $\frac{5}{4}$ dioptri
C. $\frac{4}{5}$ dioptri
D. $-\frac{2}{5}$ dioptri
E. $-\frac{4}{5}$ dioptri

14. Seberkas cahaya menembus bidang batas dua medium seperti ditunjukkan gambar berikut.



Jika indeks bias medium 2 relatif terhadap medium 1 adalah $\sqrt{2}$., maka besar sudut α pada gambar tersebut adalah . . .

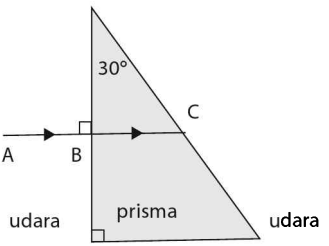
A. 0°
B. 30°
C. 45°
D. 60°
E. 90°

15. Tiga buah lensa masing-masing memiliki jarak fokus 10 cm, -10 cm, dan 10 cm. Sumbu-sumbu optiknya terletak pada satu garis lurus. Jarak antara satu lensa dengan lensa yang lain masing-masing 4 cm. Jika sinar matahari memasuki lensa pertama sepanjang sumbu optiknya, maka bayangan matahari yang dibentuk oleh susunan lensa itu terletak di belakang lensa ketiga sejauh . . .

A. 3,43 cm
B. 4,61 cm
C. 5,24 cm
D. 15,09 cm
E. 18,08 cm

16. Sebuah lensa di udara mempunyai jarak fokus 15 cm. Indeks bias bahan lensa 1,5. Pada saat lensa berada di dalam air yang indeks biasnya 4/3, jarak fokus lensa menjadi . . .
    A. 10 cm
    B. 15 cm
    C. 22,5 cm
    D. 60 cm
    E. 120 cm

17. Seberkas sinar monokromatik A dijatuhkan tegak lurus pada salah satu sisi prisma siku-siku. Prisma tersebut memiliki sudut puncaknya 30° dan indeks biasnya 1,5, seperti ditunjukkan gambar berikut.



    Di titik C sinar akan . . .
    A. Dibiaskan dengan sudut bias > 30°
    B. Dibiaskan dengan sudut bias < 30°
    C. Dipantulkan dan dibiaskan
    D. Dipantulkan sempurna
    E. Dipantulkan ke arah A

18. Jarak fokus lensa obyektif dan lensa okuler sebiah mikroskop masing-masing 2 cm dan 5 cm. Kedua lensa tersebut digunakan untuk mengamati benda renik yang terletak 25 cm dari lensa obyektif. Jika pengamat bermata normal berakomodasi maksimum, maka perbesaran yang dihasilkan mikroskop tersebut adalah . . .
    A. 20 kali
    B. 24 kali
    C. 25 kali
    D. 50 kali
    E. 54 kali

19. Sebuah mikroskop mempunyai jarak fokus lensa obyektif dan lensa okuler berturut-turut 10 mm dan 4 cm. Jika sebuah benda diletakkan

11 mm di depan lensa obyektif, maka perbesaran yang dihasilkan untuk mata normal tak berakomodasi adalah . . .

A. 10 kali
B. 11 kali
C. 62,5 kali
D. 65 kali
E. 75 kali

20. Perbandingan cepat rambat cahaya di dalam gelas dan di dalam air adalah 8 : 9. Jika indeks bias air $\frac{4}{3}$, maka indeks bias gelas adalah . . .

A. 0,67
B. 0,8
C. 1,19
D. 1,50
E. 1,67

21. Diketahui indeks bias udara besarnya 1, indeks bias air 4/3, dan indeks bias bahan lensa tipis 3/2. Jika suatu lensa tipis memiliki kekuatan di udara 4 dioptri, maka kekuatannya di dalam air menjadi . . .

A. 3/5 dioptri
B. 5/2 dioptri
C. 5/3 dioptri
D. 5/4 dioptri
E. 1 dioptri

22. Sebuah mikroskop mempunyai lensa obyektif dengan jarak focus 0,90 cm dan berjarak 13 cm dari okulernya yang berjarak fokus 5 cm. Perbesaran benda yang terletak 1 cm dari obyektifnya adalah . . .

A. 60 dioptri
B. 54 dioptri
C. 50 dioptri
D. 45 dioptri
E. 40 dioptri

23. Suatu benda diletakkan pada jarak 4 cm di depan lensa cembung. Bayanan yang dihasilkan tegak, diperbesar 5X. Jarak fokus lensa tersebut adalah . . .

A. 1¼ cm
B. $3\frac{1}{3}$ cm
C. 5 cm
D. 6 cm
E. 9 cm

24. Sebuah teropong diarahkan ke bintang menghasilkan perbesaran anguler 20 kali. Jika jarak fokus lensa obyektifnya 100 cm, maka jarak antara lensa obyektif dan lensa okuler teropong itu adalah . . .
    A. 120 cm
    B. 105 cm
    C. 100 cm
    D. 95 cm
    E. 80 cm

25. Sebuah benda berada pada jarak 21 cm di depan lensa divergen. Jika jarak fokus lensa 7 cm, maka letak bayangan terhadap lensa adalah . . .
    A. 5,25 cm di depan lensa
    B. 5,25 cm di belakang lensa
    C. 10,50 cm di depan lensa
    D. 10,50 cm di belakang lensa
    E. 14,00 cm di belakang lensa

26. Titik dekat mata seorang terletak pada jarak 120 cm di depan mata. Untuk melihat dengan jelas suatu benda yang terletak 30 cm di depan mata, kekuatan lensa kacamata yang harus dipakai adalah . . .
    A. 3,3 dioptri
    B. 2,5 dioptri
    C. 1,5 dioptri
    D. -1,5 dioptri
    E. -2,5 dioptri

27. Sebuah lup mempunyai jarak fokus 10 cm. Jika digunakan oleh orang normal (S_n = 25 cm), maka perbesaran untuk mata berakomodasi maksimum adalah . . .
    A. 2,0 kali
    B. 2,5 kali
    C. 3,5 kali
    D. 4,0 kali
    E. 4,5 kali

28. Berkas cahaya datang dari medium A ke medium B dengan sudut datang 30° dan dibiaskan dengan sudut sebesar 45°. Indeks bias relatif medium A terhadap B adalah . . .

A. $\frac{1}{2}$

B. $\frac{1}{2}\sqrt{2}$

C. $\frac{1}{2}\sqrt{3}$

D. $\sqrt{2}$

E. 2

29. Seseorang memiliki *punctum proximum* 50 cm dan punctum remotum tak terhingga. Agar dapat membaca pada jarak normal, orang tersebut harus memakai kacamata yang berlensa . . .
    A. negatif dengan jarak fokus 0,25 m
    B. negatif dengan jarak fokus 0,5 m
    C. positif dengan jarak fokus 0,2 m
    D. positif dengan jarak fokus 0,25 m
    E. positif dengan jarak fokus 0,5 m

30. Seorang petugas Pemilu mengamati keaslian kartu suara dengan menggunakan lup berkekuatan 10 dioptri. Jika orang itu memiliki titik dekat mata 30 cm dan ingin memperoleh perbesaran anguler maksimum, maka kartu suara ditempatkan di depan lup pada jarak . . .
    A. 5,5 cm
    B. 6,5 cm
    C. 7,0 cm
    D. 7,5 cm
    E. 8,5 cm

Fisika (bahasa Yunani: fysikós, "alamiah" atau fýsis, "alam") adalah ilmu tentang alam dalam makna yang terluas.

DUALISME GELOMBANG PARTIKEL

22

Teori Fisika klasik yang menganggap bahwa cahaya merupakan gelombang ternyata tidak dapat menerangkan spektrum radiasi benda hitam. Max Plank beranggapan bahwa cahaya dapat dianggap sebagai partikel. Anggapan ini diperkuat dengan adanya fenomena efek fotolistrik dan efek Compton.

A. RADIASI BENDA HITAM

Energi yang dipancarkan benda ke sekitarnya disebut ***energi radiasi***. Energi radiasi yang dipancarkan benda dalam bentuk gelombang elektromagnetik dan tergantung pada suhu benda itu dan sifat permukaan benda. Benda yang mudah menyerap panas sekaligus merupakan benda yang memancarkan panas dengan baik. Makin tinggi suhu benda semakin besar energi yang dipancarkan.

Intensitas radiasi yang dipancarkan oleh benda dirumuskan oleh Joseph Stefan dan Ludwig Boltzmann, yaitu:

$$I = \frac{P}{A} = e \sigma T^4$$

dengan,

I = intensitas radiasi (watt/m^2)

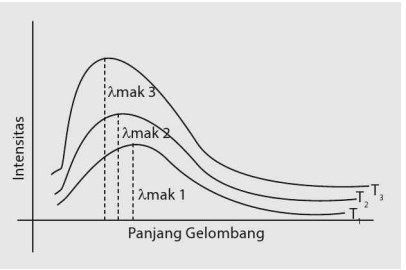
P = daya radiasi (watt)

A = luas permukaan (m^2)

e = koefisien emisivitas ($0 \leq e \leq 1$), untuk benda hitam e = 1.
σ = tetapan Stefan-Boltzmann ($5{,}67 \times 10^{-8}$ W/m^2 K)
T = suhu mutlak benda (K)

B. HUKUM PERGESERAN WIEN

Spektrum radiasi benda hitam merupakan gambaran dari gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh benda hitam. Hukum pergeseran Wien menyatakan bahwa semakin tinggi suhu pada benda hitam, maka panjang gelombang elektromagnetiknya akan semakin pendek (pada energi radiasi maksimum)



$\lambda_{maks} \times T = C$

dengan,
λ_{maks} = panjang gelombang yang membawa energi maksimum (m)
T = suhu mutlak benda (K)
C = konstanta Wien = $2{,}898 \times 10^{-3}$ mK.

C. TEORI KLASIK DAN TEORI KUANTUM PLANCK

Kelemahan teori gelombang klasik dalam menjelaskan tentang radiasi benda hitam, antara lain:

a. Teori yang dikemukaan oleh Wilhelm Wien hanya cocok untuk menjelaskan radiasi benda hitam pada daerah panjang gelombang pendek, tetapi gagal untuk menjelaskan pada daerah panjang gelombang panjang.
b. Teori yang dikemukakan oleh Lord Rayleigh serta James Jeans dapat menjelaskan radiasi benda hitam pada daerah panjang

gelombang panjang tetapi gagal untuk menjelaskan pada panjang gelombang pendek.

Pada akhir tahun 1900, Max Planck berhasil menjelaskan hasil spektrum radiasi benda hitam. Menurut Max Planck *"energi radiasi benda hitam dipancarkan tidak secara kontinu tetapi secara diskontinu, yaitu pancaran radiasi benda hitam dipancarkan dalam bentuk paket-paket energi yang disebut kuanta (di kemudian hari lebih dikenal dengan sebutan foton)"*.

a. Energi radiasi yang dipancarkan oleh getaran atom-atom benda hitam berbentuk diskret (diskontinu) yaitu berupa paket energi yang besarnya:

$$E = n\,h\,f$$

dengan,
E = energi foton (joule)
n = bilangan kuantum (n = 0, 1, 2, 3, . . .)
h = konstanta Planck = $6{,}625 \times 10^{-34}$ Js
f = frekuensi osilasi (Hz)

b. Atom memancarkan atau menyerap energi dalam bentuk paket-paket energi (diskret) yang disebut kuantum atau foton. Setiap foton memiliki energi sebesar hf. Jika suatu atom menyerap 1 foton, energinya bertambah sebesar hf dan sebaliknya jika memancarkan satu foton energinya akan berkurang sebesar hf.

D. EFEK FOTOLISTRIK

Efek fotolistrik adalah gejala terlepasnya elektron dari permukaan logam ketika logam tersebut disinari cahaya (gelombang elektromagnetik). Percobaan ini dilakukan oleh Albert Einstein dengan tujuan menyelidiki bahwa cahaya merupakan pancaran paket-paket energi (teori kuantum) yang dikemukakan oleh Max Planck.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa tidak semua cahaya (foton) yang dijatuhkan pada keping akan menimbulkan efek fotolistrik. Efek fotolistrik akan timbul jika:

a. Frekuensi foton lebih besar dari frekuensi ambang logam ($f > f_0$).
b. Panjang gelombang foton lebih kecil dari panjang gelombang ambang logam ($\lambda < \lambda_0$)

Pada peristiwa efek fotolistrik berlaku persamaan:

$$E = W + Ek$$
$$hf = hf_0 + Ek$$
$$eV_0 = hf - hf_0$$

dengan,
E = energi foton (joule atau J)
W = fungsi kerja logam (joule atau J)
Ek = energi kinetik (joule atau J)
f = frekuensi foton (Hz)
f_0 = frekuensi ambang logam (Hz)
e = muatan elektron = $1{,}6 \times 10^{-19}$ C

E. SPEKTRUM ATOM HIDROGEN

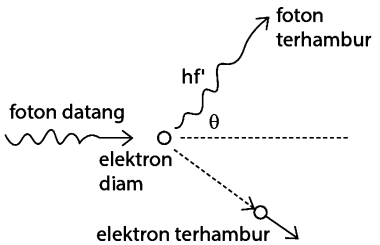
Panjang gelombang yang dipancarkan oleh atom hidrogen ketika elektron pindah dari lintasan n_B ke n_A adalah:

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n_A^2} - \frac{1}{n_B^2}\right)$$

dengan
R = tetapan Rydberg = $1{,}097 \times 10^7$ m^{-1}
- Deret Lyman (ultraviolet): $n_A = 1$ dan $n_B = 2, 3, 4, ...$
- Deret Balmer (sinar tampak): $n_A = 2$ dan $n_B = 3, 4, 5, ...$
- Deret Paschen (sinar inframerah pertama): $n_A = 3$ dan $n_B = 4, 5, 6, ...$
- Deret Bracket (sinar inframerah kedua): $n_A = 4$ dan $n_B = 5, 6, 7, ...$
- Deret Pfund (sinar inframerah ketiga): $n_A = 5$ dan $n_B = 6, 7, 8, ...$

F. EFEK COMPTON

Efek Compton merupakan peristiwa yang menunjukan perilaku cahaya/foton sebagai partikel, di mana terdapat hubungan antara foton dengan elektron-elektron bahan. Pada efek Compton, foton yang jatuh pada permukaan logam, akan dihamburkan oleh elektron-elektron sehingga panjang gelombang hamburannya lebih besar dari panjang gelombang foton yang datang. Perubahan panjang gelombang foton dapat dituliskan:



$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\theta)$$

dengan,

$\Delta\lambda$ = perubahan panjang gelombang
λ' = panjang gelombang foton setelah tumbukan (m)
λ = panjang gelombang foton sebelum tumbukan (m)
h = kontanta Planck = $6{,}625 \times 10^{-34}$ Js
m_0 = massa diam elektron ($9{,}1 \times 10^{-31}$ kg)
c = kecepatan cahaya dalam ruang hampa (3×10^8 m/s)
θ = sudut hamburan foton terhadap arah semula (derajat atau radian)

G. SIFAT GELOMBANG DARI PARTIKEL

Menurut de Broglie, setiap partikel yang bergerak berperilaku seperti gelombang yang memiliki panjang gelombang sesuai rumus:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

Partikel dapat dipercepat oleh beda potensial V dengan panjang gelombang:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meV}}$$

dengan,
λ = panjang gelombang de Broglie (m)
m = massa partikel (kg)
v = kecepatan partikel (m/s)
p = momentum partikel (kg m/s)
V = beda potensial (volt)
e = muatan elektron (C)

H. PENERAPAN RADIASI BENDA HITAM

a. Penentuan Suhu Permukaan Matahari

Suhu permukaan matahari atau bintang dapat ditentukan dengan mengukur daya radiasi matahari yang diterima bumi. Dari hukum Stefan-Boltzmann, total daya yang dipancarkan oleh matahari adalah:

$P_M = (\sigma T_M^4)(4\pi r_M^2)$

Matahari memancarkan daya yang sama ke segala arah. Dengan demikian bumi hanya menyerap sebagian kecil, yaitu:

$$P_{abs} = P_M \left(\frac{\pi r_B^2}{4\pi D^2} \right)$$

dengan,
P_M = daya yang dipancarkan matahari (watt)
T_M = suhu permukaan matahari (K)
r_M = jari-jari matahari (m)
σT_M^4 = laju radiasi matahari (watt/m^2)
P_{abs} = daya yang diserap bumi (watt)
r_B = jari-jari bumi (m)

D = jarak matahari ke bumi (m)

Meskipun bumi hanya menyerap sebagian daya dari matahari, namun bumi mampu memancarkan daya ke segala arah. Besar daya yang dipancarkan bumi adalah:

$$P_{emt} = (\sigma T_B^4)(4\pi R_B^2)$$

dengan,

P_{emt} = daya yang dipancarkan bumi (Watt)

T_B = suhu permukaan bumi (K)

h. Radiasi Energi yang Dipancarkan Manusia

Sebagian besar energi manusia diradiasikan dalam bentuk radiasi elektromagnetik, khususnya inframerah. Untuk dapat memancarkan suatu energi, tubuh manusia harus menyerap energi dari lingkungan sekitarnya. Total energi yang dipancarkan oleh manusia adalah selisih antara energi yang diserap dengan energi yang dipancarkan.

$$P_T = P_{pancar} - P_{serap} = e \sigma a (T^4 - T_L^4)$$

dengan,

P_T = daya total (Watt)

T = suhu permukaan tubuh manusia (K)

T_L = suhu lingkungan (K)

A = luas permukaan tubuh manusia (m^2)

σ = tetapan Stefan-Boltzmann, $5{,}67 \times 10^{-8}$ W/m^2 K

CONTOH SOAL DAN PEMBAHASAN

1. Besarnya perbandingan energi radiasi yang dipancarkan oleh benda yang sama pada suhu 127°C dan suhu 527°C adalah . . .

   A. 1 : 2
   B. 1 : 4
   C. 1 : 8
   D. 1 : 10
   E. 1 : 16

   Jawaban: E

- suhu benda pertama, $T_1 = 127°C = (127 + 273)\ K = 400\ K$
- suhu benda kedua, $T_2 = 527°C = (527 + 273)\ K = 800\ K$

Perbandingan energi radiasi yang dipancarkan oleh kedua tersebut adalah:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{e\tau T_1^4}{e\tau T_2^4}$$
$$= \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^4$$
$$= \left(\frac{400}{800}\right)^4$$
$$= \frac{1}{16}$$
$$= 1 : 16.$$

2. Sebuah lampu pijar yang terbuat dari baja memancarkan energi maksimum pada panjang gelombang cahaya 5.000 Å. Suhu sumber cahaya tersebut adalah . . .

A. 5.523°C
B. 6.506°C
C. 8.233°C
D. 9.726°C
E. 1.003°C

Jawaban: A

Ingat!
$1\ Å = 10^{-10}\ m$

- panjang gelombang maksimum, $\lambda_{maks} = 5.000\ Å = 5 \times 10^{-7}\ m$

Suhu sumber cahaya tersebut adalah:

$\lambda_{maks} \times T = C$
$(5 \times 10^{-7}\ m) \times T = 2{,}898 \times 10^{-3}\ mK$
$T = (2{,}898 \times 10^{-3}\ mK) : (5 \times 10^{-7}\ m)$
$T = 5.796K$
$T = 5.523°C.$

3. Suatu benda yang luasnya 20 m^2 memiliki suhu 1000K memancarkan radiasi sebesar 68,04 watt/m^2. Besarnya emisivitas permukaan benda tersebut adalah . . .

A. 0,02
B. 0,04
C. 0,05
D. 0,06
E. 0,08

Jawaban: A

- luas permukaan benda, A = 20 m^2
- intensitas yang dipancarkan, I = 68,04 watt/m^2
- suhu permukaan benda, T = 1000K

Besarnya koefisien emisivitas permukaan benda adalah:

$$e = \frac{IA}{\tau T^4}$$
$$= \frac{(68,04\ watt/m^2)\times(20 m^2)}{(5,67\times10^{-8}\ watt/m^2K)\times(1000K)^4}$$
$$= \frac{1360,8}{5,67\times10^4}$$
$$= 0,024$$
$$\approx 0,02.$$

4. Panjang gelombang cahaya tampak adalah 5.000 Å. Energi fotonnya adalah . . .

A. $4,3 \times 10^{-19}$ joule
B. $3,9 \times 10^{-19}$ joule
C. $2,7 \times 10^{-19}$ joule
D. $2,3 \times 10^{-19}$ joule
E. $0,8 \times 10^{-19}$ joule

Jawaban: B

- panjang gelombang cahaya tampak, λ = 5.000 Å = 5×10^{-7} m

Energi foton cahaya tampak adalah:

$$E = h\frac{c}{\lambda}$$
$$= (6,625 \times 10^{-34}\ Js) \times \frac{3\times10^8\ m/s}{5\times10^{-7}\ m}$$

$= (6{,}625 \times 10^{-34}\ \text{Js}) \times (6 \times 10^{14}\ /\text{s})$
$= 39{,}75 \times 10^{-20}$ joule
$= 3{,}9 \times 10^{-19}$ joule.

6. Berkas sinar ultraviolet (λ = 3.000 Å) dijatuhkan pada suatu pelat logam. Untuk membebaskan elektron dari logam tersebut diperlukan energi 4 eV. Energi kinetik elektron tersebut adalah . . .
   A. $0{,}2 \times 10^{-19}$ joule
   B. $1{,}6 \times 10^{-19}$ joule
   C. $2{,}4 \times 10^{-19}$ Joule
   D. $3{,}5 \times 10^{-19}$ joule
   E. $7{,}0 \times 10^{-19}$ joule

   Jawaban: A

   - panjang gelombang foton, $\lambda = 3.000\ \text{Å} = 3 \times 10^{-7}$ m
   - fungsi kerja logam, $W = 4\ \text{eV} = 4 \times (1{,}6 \times 10^{-19}\ \text{J}) = 6{,}4 \times 10^{-19}$ J

   Energi kinetik elektron saat keluar dari logam adalah:

   $Ek = E - W$

   $= h\frac{c}{\lambda} - W$

   $= (6{,}625 \times 10^{-34}\ \text{Js}) \times \frac{3 \times 10^{8}\ \text{m/s}}{3 \times 10^{-7}\ \text{m}} \times 6{,}4 \times 10^{-19}\ \text{J}$

   $= 6{,}625 \times 10^{-19}\ \text{J} - 6{,}4 \times 10^{-19}\ \text{J}$
   $= 0{,}2 \times 10^{-19}\ \text{J}.$

7. Energi kinetik maksimum dari hasil penyinaran logam kalium dengan ultraviolet (λ = 200 nm) bila panjang gelombang ambang kalium 440 nm adalah . . .
   A. 3,0 eV
   B. 4,3 eV
   C. 3,9 eV
   D. 3,4 eV
   E. 9,9 eV

   Jawaban: D

   - panjang gelombang foton, $\lambda = 200\ \text{nm} = 2 \times 10^{-7}$ m
   - panjang gelombang ambang kalium $\lambda_0 = 440\ \text{nm} = 4{,}4 \times 10^{-7}$ m

   Energi kinetik maksimum elektron saat meninggalkan permukaan logam kalium adalah:

$$
\begin{aligned}
Ek &= E - W \\
&= h\frac{c}{\lambda} \times h\frac{c}{\lambda_0} \\
&= hc\left(\frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda \times \lambda_0}\right) \\
&= (6{,}625 \times 10^{-34}\ Js) \times (3 \times 10^{8}\ m/s) \times \\
&\quad \left(\frac{4{,}4\times10^{-7}\,m - 2{,}0\times10^{-7}\,m}{(2{,}0\times10^{-7}\,m)\times(4{,}4\times10^{-7}\,m)}\right) \\
&= (19{,}875 \times 10^{-26}\ Jm) \times \left(\frac{2{,}4\times10^{-7}\,m}{8{,}8\times10^{-14}\,m^2}\right) \\
&= (19{,}875 \times 10^{-26}\ Jm) \times (0{,}27 \times 10^{7}\ /m) \\
&= 5{,}4 \times 10^{-19}\ J \\
&= 3{,}4\ eV.
\end{aligned}
$$

8. Elektron dipercepat dari keadaan diam, memiliki beda potensial V_1 = 100 volt dan V_2 = 400 volt. Perbandingan panjang gelombang de Broglie-nya adalah . . .

A. 1 : 4
B. 1 : 2
C. 3 : 4
D. 2 : 1
E. 4 : 1

Jawaban: D

- beda potensial pertama, V_1 = 100 volt
- beda potensial kedua, V_2 = 400 volt

Perbandingan panjang gelombang de Broglie-nya adalah:

$$
\begin{aligned}
\frac{\lambda_1}{\lambda_2} &= \sqrt{\frac{V_2}{V_1}} \\
&= \sqrt{\frac{400\,V}{100\,V}} \\
&= \frac{20}{10} \\
&= 2 : 1.
\end{aligned}
$$

9. Sebuah foton mempunyai panjang gelombang 40 Å menumbuk sebuah elektron yang berada di udara, dan arah foton menyimpang 60° dari arah semula, maka panjang gelombang foton setelah tumbukan adalah . . .

A. 28,012 Å
B. 29,012 Å
C. 30,012 Å
D. 38,012 Å
E. 40,012 Å

Jawaban: E

- panjang gelombang foton sebelum tumbukan, $\lambda = 40$ Å $= 4 \times 10^{-9}$ m
- sudut hamburan foton, $\theta = 60°$

Panjang gelombang foton setelah tumbukan adalah:

$$\lambda' = \lambda + \frac{h}{m_0 c}(1-\cos\theta)$$

$$= 4 \times 10^{-9}\text{ m} + \frac{6{,}62 \times 10^{-34}\text{ Js}}{(9{,}1 \times 10^{-31}\text{ kg}) \times (3 \times 10^{8}\text{ m/s})}(1-\cos 60)$$

$$= 4 \times 10^{-9}\text{ m} + \frac{6{,}62 \times 10^{-34}\text{ kgm}^2/\text{s}}{27{,}3 \times 10^{-23}\text{ kgm/s}}(1-0{,}5)$$

$$= 4 \times 10^{-9}\text{ m} + 0{,}1212 \times 10^{-11}\text{ m}$$

$$= 40{,}012 \times 10^{-10}\text{ m}$$

$$= 40{,}012\text{ Å}.$$

10. Laju radiasi matahari yang suhu permukaannya 4.500 K adalah . . .

A. 25,23 kW/m^2
B. 25,23 MW/m^2
C. 22,35 MW/m^2
D. 23,25 kW/m^2
E. 23,25 MW/m^2

Jawaban: D

- suhu permukaan matahari, T = 4.500K
- tetapan Stefan-Boltzmann, $\sigma = 5{,}67 \times 10^{-8}$ W/m^2 K

Laju radiasi dari permukaan matahari adalah:

$$P_M = \sigma T_M^4$$

$$= (5{,}67 \times 10^{-8}\text{ W/m}^2\text{ K}) \times (4{,}5 \times 10^{3})^4$$

$$= (5{,}67 \times 10^{-8}\text{ W/m}^2\text{ K}) \times (410{,}0625 \times 10^{12})$$

$$= 2325{,}054375 \times 10^{4}\text{ W/m}^2 = 23{,}25\text{ MW/m}^2.$$

LATIHAN SOAL 22

1. Pernyataan yang benar tentang efek fotolistrik adalah . . .
   A. Energi elektron yang keluar dari permukaan logam akan bertambah jika frekuensi cahaya diperbesar
   B. Peristiwa efek fotolistrik dapat dijelaskan dengan menggunakan mekanika klasik
   C. Peristiwa efek fotolistrik hanya dapat terjadi pada daerah di sekitar inframerah
   D. Jumlah elektron yang keluar dari permukaan tidak dipengaruhi oleh intensitas cahaya
   E. Elektron yang keluar dari permukaan logam dipengaruhi oleh medan magnet

2. Perhatikan pernyataan berikut!
   (1) Elektron dapat keluar dari logam saat permukaan logam disinari gelombang elektromagnetik
   (2) Lepas tidaknya elektron dari logam ditentukan oleh frekuensi cahaya yang datang
   (3) Fungsi kerja untuk setiap logam selalu sama

   Pernyataan yang benar berkaitan dengan efek fotolistrik adalah . . .
   a. (1), (2), dan (3)
   b. (1) dan (2) saja
   c. (1) dan (3) saja
   D. (1) saja
   e. (3) saja

3. Sebuah elektron bergerak dengan kelajuan $2{,}2 \times 10^7$ m/s, maka panjang gelombang de Broglie adalah . . .
   A. $2{,}6 \times 10^{-11}$ m
   B. 3,3 Å
   C. 0,33 Å
   D. 0,36 Å
   E. 0,33 m

4. Energi kinetik maksimum dari penyinaran logam kalium dengan ultraviolet (λ = 200 nm) jika panjang gelombang ambang kalium 440 nm adalah . . .
   A. 3,0 eV
   B. 4,3 eV
   C. 3,9 eV
   D. 3,4 eV
   E. 9,9 eV

5. Sebuah foton mempunyai panjang gelombang 40Å menumbuk sebuah elektron yang berada di udara. Jika arah foton menyimpang 60° dari arah semula, maka gelombang foton setelah tumbukan adalah . . .
   A. 28,012 Å
   B. 29,012 Å
   C. 30,012 Å
   D. 38,012 Å
   E. 40,012 Å

6. Jika atom Hidrogen memancarkan panjang gelombang terbesar pada spektrum deret Balmer, maka elektron pada atom tersebut berpindah dari lintasan dengan bilangan kuantum . . .
   A. n = 1 ke n = 2
   B. n = 2 ke n = 1
   C. n = 2 ke n = 3
   D. n = 3 ke n = 2
   E. n = ~ ke n = 2

7. Sebuah foton cahaya jingga panjang gelombang 600 nm. Energi yang ditimbulkan oleh satu foton adalah . . .
   A. $3{,}3 \times 10^{-10}$ J
   B. $3{,}3 \times 10^{-18}$ J
   C. $0{,}33 \times 10^{-18}$ J
   D. $3{,}3 \times 10^{-9}$ J
   E. $1{,}2 \times 10^{-11}$ J

8. Jika panjang gelombang cahaya tampak adalah 5.000 Å, maka energinya sebesar . . .
   A. $4{,}3 \times 10^{-19}$ J
   B. $3{,}9 \times 10^{-19}$ J
   C. $2{,}7 \times 10^{-19}$ J
   D. $2{,}3 \times 10^{-19}$ J
   E. $0{,}8 \times 10^{-19}$ J

9. Sebuah benda hitam mempunyai suhu 2.000 K. Jika konstanta hukum pergeseran Wien = $2{,}898 \times 10^{-3}$ mK, maka rapat energi maksimum yang dipancarkan benda itu terletak pada panjang gelombang (λ_{maks}) sebesar . . .
   A. 1,4 μm
   B. 2,9 μm
   C. 5,8 μm
   D. 7,3 μm
   E. 12,4 μm

10. Suatu permukaan logam dengan panjang gelombang ambang 600 nm disinari dengan cahaya yang panjang gelombangnya 400 nm. Laju maksimum elektron yang dihasilkan adalah. . .
   A. $6{,}0 \times 10^{6}$ m/s
   B. $6{,}0 \times 10^{5}$ m/s
   C. $0{,}36 \times 10^{12}$ m/s
   D. $3{,}6 \times 10^{12}$ m/s
   E. $3{,}6 \times 10^{13}$ m/s

11. Diketahui sebuah bintang tertentu melepaskan radiasi benda hitam pada 6000 K. Jika panjang gelombang bintang tersebut berada pada intensitas maksimum, maka panjang gelombangnya sebesar . . .
   A. 2.500 Å
   B. 3.500 Å
   C. 5.000 Å
   D. 8.000 Å
   E. 9.990 Å

12. Jika konstanta planck $6{,}6 \times 10^{-34}$ Js, maka besar momentum elektron yang panjang gelombangnya 2×10^{-10} m adalah . . .
   A. $13{,}2 \times 10^{-24}$ Ns
   B. $8{,}6 \times 10^{-24}$ Ns
   C. $4{,}6 \times 10^{-24}$ Ns
   D. $3{,}3 \times 10^{-24}$ Ns
   E. $2{,}2 \times 10^{-24}$ Ns

13. Pada peristiwa efek fotolistrik, kelajuan maksimum elektron dari logam tergantung pada . . .
    A. Intensitas cahaya datang
    B. Intensitas dan frekuensi cahaya datang
    C. Sudut yang dibentuk oleh cahaya
    D. Sudut dan frekuensi cahaya datang
    E. Frekuensi dan energi ambang cahaya datang

14. Berikut yang tidak termasuk sifat dari foton cahaya adalah . . .
    A. Energi foton tidak tergantung intensitas cahaya
    B. Momentum foton , $P = h/\lambda$, dengan h dan λ adalah tetapan Planck dan panjang gelombang
    C. Foton tidak dibelokkan oleh medan magnet dan medan listrik
    D. Energi yang dibawa foton sebanding dengan panjang gelombangnya
    E. Energi yang dibawa foton besarnya $E = hc/\lambda$

15. Suatu permukaan nikel dipengaruhi oleh sinar ultraviolet (λ = 200 nm) sehingga menghasilkan foto elektron. Jika fungsi kerja nikel 5,01 eV, maka untuk menghentikan foto elektron dibutuhkan beda potensial sebesar . . .
    A. 6,19 V
    B. 5,01 V
    C. 3,60 V
    D. 2,45 V
    E. 1,20 V

16. Jika sinar gamma mempunyai panjang gelombang 0,1 Å, maka massa fotonnya adalah . . .
    A. $1{,}2 \times 10^{-31}$ kg
    B. $2{,}2 \times 10^{-31}$ kg
    C. $3{,}2 \times 10^{-31}$ kg
    D. $4{,}2 \times 10^{-31}$ kg
    E. $5{,}2 \times 10^{-31}$ kg

17. Sebuah benda memiliki suhu 127°C. Jika konstanta Wien = $2{,}8 \times 10^{-3}$ mK, maka panjang gelombang radiasi dari benda tersebut yang membawa energi terbanyak adalah . . .
    A. $7{,}0 \times 10^{-6}$ m
    B. $3{,}5 \times 10^{-6}$ m
    C. $2{,}0 \times 10^{-6}$ m
    D. $1{,}4 \times 10^{-6}$ m
    E. $1{,}12 \times 10^{-6}$ m

18. Sebuah atom memiliki tingkat tenaga eksitasi 2 eV di atas tingkat dasarnya. Jika sebuah berkas cahaya yang ditembakkan menuju atom tersebut diserap, maka panjang gelombang berkas cahaya adalah . . .
    A. 540 nm
    B. 620 nm
    C. 730 nm
    D. 840 nm
    E. 970 nm

19. Pada deret Paschen nilai n_A dan n_B adalah . . .
    A. $n_A = 1$; $n_B = 2,3,4$, dan seterusnya
    B. $n_A = 2$; $n_B = 3,4,5$, dan seterusnya
    C. $n_A = 3$; $n_B = 4,5,6$, dan seterusnya
    D. $n_A = 4$; $n_B = 5,6,7$, dan seterusnya
    E. $n_A = 5$; $n_B = 6,7,8$, dan seterusnya

20. Setiap detik di matahari terjadi perubahan 4×10^9 materi menjadi energi radiasi. Bila laju cahaya dalam vakum adalah 3×10^{10} cm/s, maka daya yang dipancarkan oleh matahari adalah . . .
    A. $3,6 \times 10^{30}$ W
    B. $5,0 \times 10^{10}$ W
    C. $1,2 \times 10^{18}$ W
    D. $3,6 \times 10^{26}$ W
    E. $4,8 \times 10^{27}$ W

21. Energi foton sinar tampak yang dipancarkan atom hidrogen ketika terjadi transisi elektron dari $n = 4$ ke $n = 2$ ($E_1 = 13,6$ eV) adalah . . .
    A. 54,4 eV
    B. 13,6 eV
    C. 6,8 eV
    D. 3,4 eV
    E. 2,55 eV

22. Atom hidrogen yang berpindah dari keadaan $n = 5$ ke $n = 2$ akan memancarkan spektrum pada deret . . .
    A. Lyman
    B. Bracket
    C. Paschen
    D. Balmer
    E. Pfund

23. Atom hidrogen berpindah lintasan dari $n = 3$ ke $n = 2$. Jika konstanta Rydberg R, maka besar panjang gelombang foton yang dipancarkan adalah . . .

A. $\frac{4}{R}$
B. $\frac{5}{R}$
C. $\frac{36}{5R}$
D. $\frac{R}{4}$
E. $\frac{5R}{36}$

24. Bilangan kuantum orbital atom hidrogen dinyatakan dengan n, maka garis-garis spektrum deret Balmer terbentuk bila elektron loncat dari . . .
A. $n = 2, 3, 4$ dan seterusnya ke n = 1
B. $n = 3, 4$ dan seterusnya ke n = 2
C. $n = 4, 5$ dan seterusnya ke n = 3
D. $n = 5, 6$ dan seterusnya ke n = 4
E. $n = 6, 7$ dan seterusnya ke n = 5

25. Elektron atom hidrogen meloncat dari lintasan kulit ketiga ke tingkat dasarnya. Jika konstanta Rydberg = $1{,}097.10^7$ m^{-1}, maka panjang gelombang foton yang dipancarkan adalah . . .
A. 1.025,5 Å
B. 1.075,5 Å
C. 1.080,8 Å
D. 1.085,6 Å
E. 1.090,6 Å

26. *Frekuensi foton yang dihamburkan oleh elektron bebas akan lebih kecil dibanding saat datang* merupakan hasil dari . . .
A. Efek fotolistrik
B. Efek Compton
C. Produksi pasangan
D. Produksi sinar-X
E. Radiasi benda hitam

27. Jika konstanta Rydberg = $1{,}097 \cdot 10^7$ m^{-1}, maka panjang gelombang terpanjang pada deret Balmer adalah . . .
A. 1.215 Å
B. 3.646 Å
C. 6.563 Å
D. 18.752 Å
E. 40.516 Å

28. Energi elektron atom hidrogen pada lintasan dasar = -13,6 eV. Energi yang dipancarkan elektron pada saat mengalami eksitasi dari $n = 4$ ke $n = 3$ adalah . . .

A. 4,53 eV
B. 3,40 eV
C. 1,13 eV
D. 0,66 eV
E. 0,09 eV

29. Sebuah elektron yang dipercepat melalui beda potensial 100 V mempunyai laju $v = 5{,}93 \times 10^{6}$ m/s. Jika massa elektron 9×10^{-31} kg dan tetapan Planck, $h = 6{,}6 \times 10^{-34}$ Js, maka panjang gelombang de Broglie sebesar . . .

A. $1{,}23 \times 10^{-4}$ m
B. $1{,}23 \times 10^{-6}$ m
C. $1{,}23 \times 10^{-7}$ m
D. $1{,}23 \times 10^{-8}$ m
E. $1{,}23 \times 10^{-10}$ m

30. Permukaan suatu lempeng logam tertentu disinari cahaya monokromatik. Percobaan lakukan berulang-ulang dengan panjang gelombang yang berbeda dan di atas 500 nm, ternyata tidak ada elektron yang keluar dari lempeng. Dengan menggunakan panjang gelombang tertentu dibutuhkan tegangan 3,1 V untuk menghentikan arus fotolistrik yang terpancar dari lempeng logam. Panjang gelombang tersebut adalah . . .

A. 442 nm
B. 384 nm
C. 332 nm
D. 223 nm
E. 212 nm

Fisika (bahasa Yunani: fysikós, "alamiah" atau fýsis, "alam") adalah ilmu tentang alam dalam makna yang terluas.

INTI ATOM

23

A. INTI ATOM

Atom adalah bagian terkecil dari suatu materi yang masih memiliki sifat dasar materi tersebut. Berdasarkan teori atom modern, atom terdiri dari partikel-partikel sub atom, yaitu elektron, proton, dan nutron. Atom mempunyai ukuran ± 10^{-10} m. Atom suatu unsur dinyatakan dengan lambang berikut.

$${}^{A}_{Z}X$$

dengan,

X = jenis unsur

z = nomor atom (jumlah proton)

A = nomor massa (jumlah proton + neutron)

Jadi dari lambang atom dapat ditentukan:

Banyak neutron = A – Z

Banyaknya elektron = banyak proton = Z (atom netral)

Massa dan muatan partikel subatom

Partikel	Massa (g)	Massa (sma)	Muatan	
			coulomb	Satuan Massa
Elektron	$9{,}10939 \times 10^{-28}$	0,00055	$-1{,}6022 \times 10^{-19}$	–1
Proton	$1{,}67262 \times 10^{-24}$	1,67262	$+1{,}6022 \times 10^{-19}$	+1
Neutron	$1{,}67493 \times 10^{-24}$	1,67493	0	0

Proton dan neutron dapat berkumpul dalam inti atom karena

ada energi ikat inti, dan energi ikat inti disebabkan oleh adanya penyusutan massa pada inti atom, maka massa ini lebih kecil daripada jumlah massa proton dan neutron yang membentuknya. Penyusutan massa inti disebut dengan ***Konsep Defek Massa***.
Besarnya penyusutan massa inti dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta m = (Zm_p + (A - Z)\, m_n) - m_{inti}$$

dengan,
Δm = defek massa (penyusutan massa)
m_p = massa ptoton
m_n = massa neutron
m_{inti} = massa inti
Z = jumlah proton (nomor atom)
A = jumlah proton dan neutron (nomor massa)
Besarnya energi ikat inti dapat digunakan persamaan berikut.

$$E = \Delta m \cdot c^2$$

Jika m dinyatakan dalam sma, besarnya energi ikat inti adalah:

$$E = \Delta m \cdot 931 \text{ MeV}$$

dengan,
E = energi ikat inti
Δm = defek massa
c = kecepatan cahaya (3×10^8) m/s.

B. RADIOAKTIVITAS

Radioaktivitas adalah kemampuan inti atom yang tidak stabil untuk memancarkan radiasi dan berubah menjadi inti stabil. Proses ini disebut dengan peluruhan. Sinar radioaktif terdiri atas 3 macam, yaitu: sinar alfa (α), sinar beta (β), dan sinar gama (γ).

a. Peluruhan Sinar Alfa

Sinar alfa sering disimbolkan dengan α. Dengan demikian, ketika suatu inti memancarkan sinar alfa, inti atom akan kehilangan dua

proton dan dua neutron. Misalnya inti X dengan nomor atom Z dan nomor massa A memancarkan sinar alfa dan menghasilkan inti baru yaitu Y. Mekanisme peluruhannya dapat dituliskan sebagai:

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-2}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He$$

Peluruhan alfa merupakan peluruhan yang memancarkan energi. Energi yang dipancarkan pada peluruhan alfa adalah:

$$E = (m_x - m_y - m\alpha)\, c^2$$

Energi yang dipancarkan pada peluruhan alfa merupakan energi kinetik inti anak (inti Y) dan sinar alfa. Secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$E = (Ek_y - E_{k\alpha})\, c^2$$

h. Peluruhan Sinar Beta

Pada peluruhan beta (β), neutron mengalami transformasi menjadi proton dan elektron. Elektron yang meninggalkan inti atom akan terdeteksi sebagai sinar beta. Dengan demikian, nomor atom inti anak akan berselisih satu satuan dibandingkan nomor atom inti induk. Peluruhan beta di atas merupakan peluruhan beta utama. Peluruhan beta ada dua macam, yaitu peluruhan beta utama danpeluruhan beta positif (elektron positif atau positron). Mekanisme peluruhannya dapat dituliskan sebagai berikut:

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + \beta + \upsilon \qquad \upsilon = \text{neutrino}$$

Peluruhan beta utama jika dinyatakan sebagai perubahan neutron menjadi proton dapat dituliskan sebagai:

$${}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}p + {}^{1}_{-1}p + \upsilon$$

Energi yang dihasilkan pada peluruhan beta utama dapat dirumuskan:

$$E = (m_x - m_y - m\alpha)\, c^2$$

Dalam peluruhan beta positif, proton berubah menjadi neutron dan memancarkan sebuah positron. Mekanisme peluruhannya adalah:

$${}_{1}^{1}p \rightarrow {}_{0}^{1}n + {}_{+1}^{1}e + \upsilon$$

Energi pada peluruhan beta positif dapat dirumuskan:

$$E = (m_x - m_y - 2m\alpha)\, c^2$$

c. Peluruhan Sinar Gamma

Pada peluruhan gamma (γ), inti induk tidak mengalami perubahan, tetapi pada proses ini dipancarkan energi yang tinggi. Mekanisme peluruhannya adalah:

$${}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{Z}^{A}Y + {}_{0}^{0}\gamma + \text{energi}$$

Secara matematis proses peluruhan inti – inti radioaktif dapat dituliskan dalam bentuk:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

dengan,

N = jumlah inti atom aktif setelah meluruh akhir (s)
N_o = jumlah inti atom aktif mula-mula (s)
e = bilangan netral (2,71828)
λ = konstanta peluruhan radioaktif
T = waktu peluruhan (s)
t = selang waktu antara saat mulai peluruhan sampai saat ini(s)

Besarnya waktu paruh radioaktif dapat diketahui melalui persamaan sebagai berikut :

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}}$$

dengan,

N = jumlah inti atom setelah meluruh
N_o = jumlah inti atom mula-mula
t = selang waktu Antara saat mulai peluruhan sampai saat ini (s)
T = waktu paruh sumber radioaktif

C. REAKSI INTI

Reaksi inti adalah suatu proses tumbukan–tumbukan dapat mengubah susunan inti sasaran. Tumbukan antara inti atom dengan

partikel penembak akan mengakibatkan terbentuknya inti baru yang berbeda dengan inti asal. Inti baru ini disebut sebagai inti transmutasi.
Reaksi inti dapat dituliskan di dalam suatu persamaan berikut:

$X + a \rightarrow Y + b + Q$ atau X(a,b) Y

dengan,
X = inti sasaran
a = partikel penembak
Y = inti yang dihasilkan
b = partikel yang dihasilkan (dipancarkan)
Q = energi reaksi

Energi reaksi (Q) adalah energi reaktan yang dikurangi dengan energi produk. Besarnya energi reaksi dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

Energi Reaktan = $(m_a + m_x) \cdot 931$ MeV
Energi Produktif = $(m_y + m_b) \cdot 931$ MeV

dengan,
Q = energi reaksi
m_a = massa partikel penembak
m_x = massa partikel inti sasaran
m_y = massa inti baru
m_b = massa partikel pancaran

D. TEKNOLOGI NUKLIR

Reaktor atom atau ***reaktor nuklir*** adalah alat yang digunakan untuk mengendalikan proses reaksi berantai atautempat terjadinya reaksi fisi berantai yang terkendali.
Jenis–jenis reaktor atom sesuai dengan penggunaannya adalah sebagai berikut:

- ***Reaktor penelitian*** adalah reaktor yang digunakan untuk mengadakan penelitian–penelitian dalam bidang biologi,

material, fisika, kimia dan teknologi – teknologi lainnya.

- ***Reaktor isotop*** adalah reaktor yang digunakan untuk memproduksi radioisotop yang banyak dipergunakan dalam bidang kedokteran nuklir, biologi, farmasi, dan industri.
- ***Reaktor daya*** adalah reaktor yang dapat dipergunakan untuk pembangkit tenaga listrik.

Radioisotop banyak digunakan dalam beberapa bidang yaitu:

1) Bidang Kesehatan
   - Pengguaan radioaktif sebagai pencari jejak (*tracer*) dalam pengobatan penyakit penyempitan pembuluh darah (trombosis)
   - Digunakan untuk studi pengambilan unsur – unsur tertentu dalam organ tubuh
   - Radiasi radioisotop dapat dipergunakan untuk membunuh sel kanker
   - Radiasinya juga dapat dimanfaatkan dalam pensterilan alat – alat kedokteran
   - Di samping itu radiasinya dapat dipergunakan dalam mutasi gen
   - Dipergunakan untuk mendeteksi kelainan – kelainan dalam jaringan tubuh.
2) Bidang Industri
   - Dalam pembuatan kaos lampu petromaks yang menggunakan larutan radioisotop thorium dalam batas yang ditentukan agar nyalanya lebih terang
   - Digunakan untuk pemeriksaan tanpa merusak dengan menggunakan teknik radiografi
   - digunakan untuk mengukur ketebalan bahan terus menerus sejak dibuat di pabrik
   - Dipakai untuk mengefisiensikan pekerjaan mengeruk lumpur pelabuhan dan terowongan
3) Bidang Pertanian
   - Digunakan dalam mempelajari penyerapan unsur – unsur tertentu oleh tumbuhan
   - Memproduksi tanaman dengan karakteristik baru

- Digunakan untuk memandulkan serangga – serangga (sterilisasi)

4) Bidang Seni dan sejarah
   - Digunakan untuk mendeteksi pemalsuan lukisan dan keramik
   - Digunakan untuk menentukan umur fosil
5) Bidang Hidrologi
   - Dapat dipergunakan untuk mengukur kecepatan aliran atau debit aliran misalnya aliran fluida dalam pipa
   - Dapat dipergunakan untuk pengukuran air tanah
   - Dipergunakan untuk mendeteksi kebocoran pipa penyalur yang terbenam dalam tanah
   - Dipergunakan dalam pengukuran tinggi permukaan cairan atau benda lainnya dalam suatu wadah tertutup

CONTOH SOAL DAN PEMBAHASAN

1. Jika diketahui massa atom = 238,05076 sma, massa neutron = 1.00867 sma dan massa proton = 1,00728 sma, energi ikat per nukleon dari inti adalah ....

   A. 3,38 MeV
   B. 4,38 MeV
   C. 5,38 MeV
   D. 6,38 MeV
   E. 7,38 MeV

   Jawaban: E

   - Massa inti, m_{inti} = 238,05076 sma
   - Massa proton, m_p = 1,00728 sma
   - Massa neutron, m_n = 1,00867 sma

   Penyusutan massa inti adalah:

   $\Delta m = (Zm_p + (A - Z)\, m_n) - m_{inti}$
   $= (92 \cdot 1{,}00728 \text{ sma} + (238 - 92)\, 1{,}00867 \text{ sma}) - 238{,}05076 \text{ sma}$
   $= 239{,}93558 \text{ sma} - 238{,}05076 \text{ sma} = 1{,}88482 \text{ sma}$

   $\Delta E = \Delta m \cdot 931{,}5 \text{ Mev}$
   $= 1{,}88482 \text{ sma} \cdot 931{,}5 \text{ MeV}$
   $= 1755{,}7098 \text{ MeV}$

Energi ikat per nukleon $= \frac{\Delta E}{A}$

$= \frac{1755{,}709\,\text{MeV}}{238}$

$= 7{,}38\,\text{MeV}$

2. Massa atom adalah 15,995 sma, massa hidrogen adalah 1,0078 sma, dan neutron 1,0087, defek massanya adalah . . .

A. 0,137 sma
B. 0,240 sma
C. 0,543 sma
D. 0,759 sma
E. 0,766 sma

Jawaban: A

- Massa atom $^{16}_{8}O$,mi= 15,995 sma
- Massa atom hidrogen, mH = 1,0078 sma
- Massa neutron, mn = 1,0087sma
- Nomor massa $^{16}_{8}O$, A = 16
- Nomor atom $^{16}_{8}O$, Z = 8

Neutron $^{16}_{8}O$ adalah:

n = A – Z
= 16 – 8
= 8

Massa total nukleon adalah:

$m_{nukleon}$ = massa total proton + massa total neutron
$= 8\,m_p + 8\,m_n$
$= 8\,(m_p + m_n)$
= 8 (1,0078 sma + 1,0087 sma)
= 16,132 sma

Defek massanya adalah:

m = Z · mp + (A – Z)mn – mi
= 8 · 1,0078 sma + (16 – 8) 1,0087 sma – 15,995 sma
= 0,137 sma

3. Kerapatan inti dari unsur ${}^{16}_{8}O$ adalah . . .

A. $12{,}2 \times 10^{16}\ kg/m^3$
B. $14{,}6 \times 10^{16}\ kg/m^3$
C. $24{,}2 \times 10^{16}\ kg/m^3$
D. $30{,}0 \times 10^{16}\ kg/m^3$
E. $35{,}7 \times 10^{16}\ kg/m^3$

Jawaban: C

Terdapat sebuah unsur ${}^{16}_{8}O$, dengan nomor massa 16 dan nomor atom 8. Kerapatan inti unsur tersebut adalah:
Dengan anggapan inti berbentuk bola, maka volume inti adalah $V = \frac{4}{3}\pi \cdot R^3$, sehingga:

$R = 1{,}2\ 10^{-15} \bullet\ fm$

$$V = \frac{4}{3}\pi \cdot R^3$$
$$= \frac{4}{3}\pi \left(1{,}2 \times 10^{-15} \cdot A^{\frac{1}{3}} m\right)^3$$
$$= \frac{4}{3}\pi \cdot 1{,}8 \times 10^{-45} \cdot A\ m^3$$
$$= \frac{4}{3}\pi \cdot 1{,}8 \times 10^{-45} \cdot 16\ m^3$$
$$= 1{,}1 \times 10^{-43}\ m^3$$

Maka, kerapatan inti unsur tersebut adalah:

$$\rho = \frac{m}{V}$$
$$= \frac{16 \cdot 1{,}66056 \times 10^{-27}\ kg}{1{,}1 \times 10^{-43} m^3}$$
$$= \frac{26{,}6 \times 10^{-27}\ kg}{1{,}1 \times 10^{-43}\ m^3}$$
$$= 24{,}2 \times 10^{16}\ kg/m^3$$

4. Suatu unsur radioaktif meluruh dan tinggal 25% dari jumlah semula setelah 20 menit. Bila mula-mula massa unsur tersebut 120 g, maka setelah setengah jam meluruh massa sisa unsur menjadi ....

A. 10 g
B. 11 g
C. 12 g
D. 13 g
E. 15 g

Jawaban: E

- Massa mula-mula, $m_0 = 120$ gram
- Waktu mula-mula, $t_1 = 20$ menit
- Massa akhir, $m_1 = 25\%\ m_0$
- Waktu peluruhan, $t_2 = 30$ menit

Dari nilai m_1 dan t_1 dapat ditentukan waktu paro unsur tersebut.

$$m_1 = m_o\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}}$$

$$\frac{1}{4}m_0 = m_o\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}}$$

berarti : $\frac{20}{T_{\frac{1}{2}}} = 2$ dan T = 10 menit

Dari nilai T dapat diperoleh massa sisa setelah t_2 sebesar:

$$m_2 = m_o\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}}$$

$$= 120\ g\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{30}{10}}$$

$$= 120\ g \cdot \frac{1}{8}$$

$$= 15\ g$$

5. Suatu unsur radioaktif meluruh dan tinggal 25% jumlah semula setelah 20 menit. Bila mula-mula massa unsur tersebut 120 gram maka setelah setengah jam meluruh massa unsur yang belum meluruh adalah . . .

A. 60 gram
B. 40 gram
C. 30 gram
D. 15 gram
E. 10 gram

Jawaban: D

- Sisa unsur radioaktif, $N_1 = 25\%\ N_o$
- $N_1 = \frac{1}{4} N_o$
- Waktu peluruhan, $t_1 = 20$ menit
- Massa awal unsur radioaktif, $N_o = 120$ gram

Persamaan kadar sisa peluruhan radioaktif jika waktu yang dibutuhkan $t_2 = 30$ menit :

$$N_1 = N_o \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}}$$

$$\frac{1}{4} N_o = N_o \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{20}{T_{\frac{1}{2}}}}$$

$$\left(\frac{1}{2}\right)^2 = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{20}{T_{\frac{1}{2}}}}$$

$$2 = \frac{20}{T_{\frac{1}{2}}}$$

$$T = \frac{20}{T_{\frac{1}{2}}} = 10 \text{ menit}$$

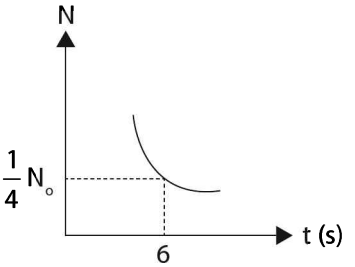
$$N_2 = No = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t_2}{T_{\frac{1}{2}}}}$$

$$N_2 = 120 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{30}{10}}$$

$$= 120 \cdot \frac{1}{8}$$

$$= 15 \text{ gram}$$

6. Perhatikan gambar berikut:



Grafik tersebut merupakan grafik peluruhan sampel radioaktif. Jika $N = \frac{1}{4} N_o = 10^{20}$ int, maka aktivitas radioaktif mula-mula adalah . . .

A. $0{,}67 \times 10^{19}$ Bq
B. $6{,}70 \times 10^{19}$ Bq
C. $0{,}93 \times 10^{19}$ Bq
D. $9{,}24 \times 10^{19}$ Bq
E. $92{,}4 \times 10^{19}$ Bq

Jawaban: D

- Dari grafik diketahui,
- Waktu peluruhan, t = 6 s

Waktu paruh unsur tersebut adalah:

$N = \frac{1}{4} N_o$, pada saat t = 6 s, maka:

$$N = N\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

$$\frac{1}{4} N_0 = N_0\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{6}{T_{1/2}}}$$

$$2 = \frac{6\ s}{T_{1/2}}$$

$$T1/2 = \frac{6\ s}{2}$$

$$= 3\ s$$

Konstanta peluruhannya adalah:

$$\lambda = \frac{0{,}693}{T_{1/2}}$$

$$= \frac{0{,}693}{3\ s}$$

$$= 0{,}231 \text{ peluruhan/sekon}$$

Aktivitas radioaktif mula-mula adalah:

$$A_0 = \lambda \cdot N$$

$$= 0{,}231 \cdot 4 \times 10^{20}$$

$$= 0{,}924 \times 10^{20} \text{ peluruhan/sekon}$$

$$A_0 = 9{,}24 \times 10^{19} \text{ Bq}$$

7. Kobalt (^{60}Co) sering digunakan sebagai sumber radiasi dalam ilmu kedokteran. Waktu paruhnya 5 tahun. Setelah berapa lama sejak sampel Kobalt baru diterima dari pesanan, aktivitasnya berkurang hingga tinggal aktivitas semula . . .

A. 9 tahun
B. 15 tahun
C. 16 tahun
D. 17 tahun
E. 20 tahun

Jawaban: B

- Waktu paruh ^{60}Co, = 5 tahun
- Aktivitas ^{60}Co pada saat diterima, $R = \frac{1}{8} R_0$

Waktu yang diperlukan hingga diterima sampel adalah:

$A = \lambda \cdot N$

$A \sim N$, maka:

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}}$$

$$A = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}}, \text{ maka:}$$

$$\frac{1}{8} A_0 = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}}$$

$$\frac{1}{8} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}}$$

$$\frac{1}{2^3} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}}$$

$$(2)^{-3} = (2)^{-\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}}$$

$3 = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}$, maka:

$t = T_{\frac{1}{2}} \cdot 3$

$= 5 \cdot 3$

$= 15$ tahun

8. Di matahari terjadi reaksi fusi seperti di bawah.
$_2He^3 + {}_2He^3 \rightarrow {}_2He^4 + {}_{21}H^1 + E$
Diketahui massa inti $_1H1 = 1{,}0081$ sma; massa inti $_2He^3 = 3{,}0169$ sma; massa inti $_2He^4 = 4{,}0089$ sma. Bila 1 sma setara dengan energi 931 MeV, maka energi yang dihasilkan pada setiap reaksi fusi adalah ....

A. 10,7547 MeV
B. 13,7547 MeV
C. 12,7547 MeV
D. 15,7547 MeV
E. 16,7547 MeV

Jawaban: C

- massa inti $_1H^1 = 1{,}0081$ sma
- massa inti $_2He^3 = 3{,}0169$ sma
- massa inti $_2He^4 = 4{,}0089$ sma

Massa pereaksi m_0:
Massa partikel He adalah:

$m_0 = 2m(2He3)$

$= 2 \,.\, 3{,}0169$

$= 6{,}0338$ sma

massa hasil reaksi m adalah:

$m = m({}_2He^4) + 2m\,({}_1H^1)$

$= 4{,}0039 + 2 \,.\, 1{,}0081$

$= 6{,}0201$ sma

Perubahan massa dalam reaksi inti (massa berkurang) sebesar:
$\Delta m = m_0 = m = 6{,}0338 - 6{,}0201 = 0{,}0137$ sma
Karena massa berkurang berarti akan dihasilkan energi yaitu
$E = \Delta m \cdot 931$
$= 0{,}0157 \cdot 931$
$= 12{,}7547$ MeV

9. Reaksi fusi beikut ini terjadi di matahari dan menghasilkan sebagian besar energi, reaksinya yaitu: $4\,{}_1^1H \rightarrow {}_2^4He + 2\,{}_{+1}^0e +$ energi. Besar energi yang dilepaskan saat 1 kg hidrogen bereaksi adalah . . . (m_H = 1,007825 μ, m_{He} = 4,002604 μ, dan m_e = 0,000549 μ)

A. $1{,}16 \times 10^{27}$ MeV
B. $3{,}56 \times 10^{27}$ MeV
C. $4{,}15 \times 10^{27}$ MeV
D. $4{,}67 \times 10^{27}$ MeV
E. $6{,}15 \times 10^{27}$ MeV

Jawaban: C

- Massa hidrogen, m_H =1,007825 μ
- Massa helium, m_{He} = 4,002604 μ
- Massa elektron, m_e = 0,000549 μ

Energi yang dilepaskan saat 1 kg hidrogen bereaksi adalah:
$Q = \{(4m_H - m_{He}) + 2\,m_e\}$ 931 MeV/sma
$= \{(4 \cdot 1{,}007825) - 4{,}002604 + (2 \cdot 0{,}000549)\}$ 931
$= (4{,}0313 - 4{,}002604 + 0{,}001098)$ 931
$= (0{,}029794)$ 931
$= 27{,}738214$ MeV
Energi yang dilepaskan pada 4 atom H adalah:

$$E = \frac{27{,}738214 \text{MeV}}{4m_H}$$

$$= \frac{27{,}738214 \text{MeV}}{4{,}0313 \text{ kg}}$$

$$1\text{kg}\,{}_1^1H = \frac{1}{1{,}66 \times 10^{-27}} \cdot \frac{27{,}738214}{4{,}0313}$$

$$= \frac{1}{1{,}66 \times 10^{-27}} \cdot 6{,}88$$

$$= 4{,}15\ 1027 \text{ MeV}$$

10. Sebuah reaktor atom mampu membangkitkan tenaga 1500 kilowatt dan menggunakan bahan bakar Uranium (U_{235}). Pada tiap pemecahan inti terlepas energi 200 MeV, banyaknya atom yang terpecah tiap hari adalah . . . (1 MeV = 1,6 10^{-13} J)

A. 407×10^{19} butir
B. $4{,}07 \times 10^{19}$ butir
C. 405×10^{19} butir
D. $40{,}7 \times 10^{19}$ butir
E. $4{,}05 \times 10^{17}$ butir

Jawaban: C

- Daya reaktor, P = 1500 kW = 15×10^5 W
- Energi yang terlepas tiap pemecahan, En = 200 MeV
- Waktu per hari, t = 24 · 3600 = 86400 s

Energi yang diperlukan pada saat pembangkitan tenaga per hari adalah:

$$E = P \cdot t$$
$$= 1500 \cdot 86400$$
$$= 12{,}96 \times 10^{10} \text{ J}$$

Jumlah atom yang terpecah per hari adalah:

$$n = \frac{E}{E_n}$$
$$= \frac{12{,}96 \times 10^{10} \text{ MeV}}{200 \text{ MeV}}$$
$$= \frac{12{,}96 \times 10^{10} \text{ MeV}}{200 \cdot 1{,}6 \times 10^{-13} \text{ MeV}} = \frac{12{,}96 \times 10^{10}}{0{,}32 \times 10^{-10}} = 405\ 1019 \text{ butir}$$

LATIHAN SOAL 23

1. Salah satu pernyataan tentang model atom Thomson adalah . . .
   A. Elektron dapat menyerap energi
   B. Elektron berkumpul membentuk inti atom
   C. Etom merupakan bagian yang terkohesif
   D. Atom memiliki muatan (+) dan (-) yang tersebar merata
   E. Elektron berada di sekitar inti

2. Yang menunjukkan perbedaan tentang atom menurut Rutherford dan Bohr adalah . . .

	Rutherford	Bohr
A.	Atom terdiri atas elektron yang bermuatan negatif dan inti atom yang bermuatan positif	Elektron tersebar merata di dalam inti
B.	Elektron tersebar merata di dalam inti	Atom terdiri atas elektron yang bermuatan negatif dan inti atom yang bermuatan positif
C.	Elektron bergerak mengorbit inti atom	Orbit elektron dalam atom menempati lintasan yang tetap

D.	Orbit elektron dalam atom menempati lintasan yang tetap	Elektron dapat berpindah lintasan dengan menyerap/ melepas energi
E.	Elektron yang tereksitasi akan menyerap energi	Elektron yang bertransisi ke lintasan terdalam akan melepas energi

3. Inti sebuah atom memancarkan sinar α, maka . . .
   A. Massa atomnya tetap
   B. Massa atomnya bertambah 1
   C. Massa atomnya berkurang 4
   D. Nomor atomnya bertambah 1
   E. Nomor atomnya berkurang 2

4. Dalam reaksi nuklir berikut ${}_4Be^9 + \alpha \rightarrow n + X$, maka . . .
   A. Nomor atom X adalah 4
   B. Nomor atom X adalah 5
   C. Nomor atom X adalah 10
   D. Nomor atom X adalah 12
   E. Nomor atom X adalah 13

5. Radiasi dari radioisotop Co-60 dimanfaatkan untuk . . .
   A. Membunuh sel kanker
   B. Detektor asap
   C. Menentukan umur fosil
   D. Terapi pada kelenjar gondok
   E. Penghancuran batu ginjal

6. Inti atom Ba^{137} melepaskan foton sinar gamma 0,66 MeV dalam transisi internalnya. Energi kinetik pentalan atom tersebut sekitar . . .
   A. 0,6 eV
   B. 1,7 eV
   C. 2,6 eV
   D. 3,3 eV
   E. 4,8 eV

7. Perhatikan reaksi fusi di bawah ini!
   Jika:
   ${}_1H^2 + {}_1H^3 \rightarrow {}_2He^4 + {}_0n^1 + Q$

- m H–2 = 2,01400 sma
- m H–3 = 2,016000 sma
- m He–4 = 4,002600 sma
- m n =1,008665 sma.

Banyak energi yang dibebaskan reaksi adalah . . .

A. 20,64573 MeV
B. 18,756 MeV
C. 17,44228 MeV
D. 2,05673 MeV
E. 1,84563 MeV

8. Suatu inti memancarkan partikel beta. Dengan demikian dalam inti terjadi . . .
   A. Perubahan proton menjadi neutron
   B. Pengurangan energi ikat
   C. Perubahan nomor massa
   D. Perubahan neutron menjadi proton
   E. Pengurangan gaya tolak coulomb

9. Agar mendapatkan inti karbon ($_6C^{12}$) dan neutron ($_0n^1$), maka maka keping berilium perlu ditembak dengan berkas . . .
   A. Proton
   B. Elektron
   C. Gamma
   D. Beta
   E. Alfa

10. Suatu unsur radioaktif meluruh dalam selang waktu 20 menit dan tinggal 25 % dari jumlah semula. Jika mula-mula massa unsur tersebut 120 gram, maka setelah setengah jam meluruh massa unsur yang belum meluruh tersisa sebanyak . . .
    A. 60 gram
    B. 40 gram
    C. 30 gram
    D. 15 gram
    E. 10 gram

11. Massa inti $_2He^4$ dan $_1H^2$ masing-masing 4,002603 sma dan 2,014102 sma. Jika 1 sma = 931 Mev, maka energi minimum yang diperlukan untuk memecah partikel alpha menjadi deuteron adalah . . .
    A. 4 MeV
    B. 14 MeV
    C. 24 MeV
    D. 34 MeV
    E. 44 MeV

12. Sebuah inti zat radioaktif memancarkan sinar beta. Dengan demikian dalam inti tersebut terjadi perubahan . . .
    A. Proton menjadi neutron
    B. Peutron menjadi proton
    C. Proton menjadi anti proton
    D. Neutron menjadi positron
    E. Proton menjadi elektron

13. Urutan daya ionisasi sinar-sinar radioaktif berikut dimulai dari yang paling lemah adalah . . .
    A. alfa - beta - gamma
    B. gamma - alfa - beta
    C. beta - alfa - gamma
    D. alfa - gamma - beta
    E. gamma - beta - alfa

14. Jika seperenambelas dari suatu unsur radioaktif masih tersisa pada peluruhan dalam selang waktu 2 jam, maka waktu parohnya adalah . . .
    A. 15 menit
    B. 30 menit
    C. 45 menit
    D. 60 menit
    E. 120 menit

15. Suatu unsur radioaktif memiliki waktu paro T sekon. Setelah 6 T sekon unsur radioaktif itu tersisa . . .
    A. $\frac{1}{8}$ bagian
    B. $\frac{1}{32}$ bagian
    C. $\frac{1}{64}$ bagian
    D. $\frac{1}{128}$ bagian
    E. $\frac{1}{256}$ bagian

16. Dari reaksi ini ${}_3Li^7 + {}_0n^1 \rightarrow {}_1H^3 + {}_2He^4 + X$.
    X adalah partikel . . .
    A. Alfa
    B. Beta
    C. Gamma
    D. Neutron
    E. Proton

17. Suatu unsur radioaktif waktu paronya 100 detik. Jika massa bahan radioaktif itu mula-mula 1 gram, maka setelah 5 menit massanya tinggal . . .

A. $\frac{1}{3}$ gram
B. $\frac{1}{4}$ gram
C. $\frac{1}{5}$ gram
D. $\frac{1}{6}$ gram
E. $\frac{1}{8}$ gram

18. Seorang ahli purbakala mendapatkan bahwa fosil kayu yang ditemukan mengandung karbon radioaktif kira-kira tinggal 1/8 dari asalnya. Jika waktu paruh karbon radioaktif adalah 5.600 tahun, berapa kira-kira umur fosil tersebut?
A. 1.400 tahun
B. 2.800 tahun
C. 11.200 tahun
D. 16.800 tahun
E. 22.400 tahun

19. Jika massa inti ${}_{Z}X^{A}$, massa proton, massa neutron dan laju di ruang hampa berturut-turut adalah m kg, p kg, n kg, dan c m/s, maka energi ikat inti adalah . . .
A. $(Zp + An + Zn + m) \times c^2$ J
B. $(Zp - An + Zn + m) \times c^2$ J
C. $(Zp + An - Zn - m) \times c^2$ J
D. $(Zp - An - Zn + m) \times c^2$ J
E. $(Zp - An + Zn - m) \times c^2$ J

20. Suatu inti nitrogen ${}^{15}_{7}N$ bereaksi dengan proton menghasilkan ${}^{15}_{6}C$ dan . . .
A. Neutron
B. Zarah alfa
C. Positron
D. Elektron
E. Deutron

21. Suatu unsur radioaktif mempunyai waktu paro T sekon. Dengan demikian bagian unsur tersebut yang tersisa setelah T sekon adalah . . .
A. $\frac{1}{2}$ bagian
B. $\frac{1}{4}$ bagian
C. $\frac{1}{8}$ bagian
D. $\frac{1}{16}$ bagian
E. $\frac{1}{64}$ bagian

22. Jika inti $_{88}Ra^{226}$ memancarkan partikel alfa dan sinar gamma, maka inti yang terjadi adalah . . .
    A. $_{86}Po^{224}$
    B. $_{86}Rn^{222}$
    C. $_{86}Rn^{226}$
    D. $_{87}Fr^{224}$
    E. $_{89}Ac^{226}$

23. Satu kilogram $_{94}P_o^{218}$ memancarkan partikel radioaktif dengan waktu paroh 30 menit. Jika dalam 1 jam unsur tersebut menjadi $^{214}_{82}Pb$, maka massa $_{94}P_o^{218}$ yang tersisa sekitar . . .
    A. 1 kg
    B. ½ kg
    C. ¼ kg
    D. 1 gram
    E. 1 mg

24. Suatu atom X mempunyai 42 proton, 42 elektron, dan 65 netron. Simbol untuk atom ini adalah . . .
    A. $_{42}X^{147}$
    B. $_{42}X^{65}$
    C. $_{84}X^{147}$
    D. $_{42}X^{107}$
    E. $_{84}X^{107}$

25. Peristiwa dalam inti yang menyebabkan zat radioaktif memancarkan positron adalah . . .
    A. Perubahan nomor massa
    B. Perubahan neutron menjadi proton
    C. Pancaran sinar-X
    D. Penangkapan elektron
    E. Perubahan proton menjadi neutron

26. Atom $_7N^{14}$ ditembak dengan partikel alpha. Jika pada proses ini dihasilkan isotop oksigen $_8O^{16}$, maka partikel yang dibebaskan adalah . . .
    A. Positron
    B. Elektron
    C. Neutron
    D. Proton
    E. Foton

27. Suatu zat radioaktif mempunyai waktu paroh 8 tahun. Pada suatu saat $\frac{7}{8}$ bagian zat telah meluruh (berdisintegrasi). Hal ini terjadi setelah . . .
    A. 8 tahun
    B. 16 tahun
    C. 24 tahun
    D. 32 tahun
    E. 40 tahun

28. Suatu zat radioaktif yang memancarkan sinar alpha didekatkan pada sebuah elektroskop yang bermuatan negative. Hal ini akan menyebabkan daun-daun elektroskop . . .
    A. Membuka lebih lebar kemudian berhenti
    B. Membuka lebih lebar kemudian menutup
    C. Menutup sedikit kemudian berhenti
    D. Menutup sedikit kemudian membuka lagi
    E. Tidak berpengaruh

29. Setelah waktu 60 hari, zat radioaktif yang belum $\frac{1}{8}$ terdisintegrasi masih bagian dari jumlah asalnya. Waktu paruh zat radioaktif zat zat radioaktif tersebut adalah . . .
    A. 20 hari
    B. 25 hari
    C. 30 hari
    D. 50 hari
    E. 180 hari

30. Dalam waktu 48 hari, $\frac{63}{64}$ bagian unsur radioaktif meluruh. Waktu paruh unsur radioaktif tersebut adalah . . .
    A. 4 hari
    B. 8 hari
    C. 16 hari
    D. 24 hari
    E. 32 hari

Fisika (bahasa Yunani: fysikós, "alamiah" atau fýsis, "alam") adalah ilmu tentang alam dalam makna yang terluas.

RELATIVISTIK 24

A. TEORI RELATIVITAS KHUSUS

Teori relativitas khusus membahas tentang kerangka acuan yang bergerak beraturan relatif terhadap kerangka acuan lain. Postulat Einstein tentang teori relativitas khusus adalah:

- Kecepatan suatu benda merupakan kecepatan relatif terhadap benda lain.
- Kecepatan cahaya adalah sama dalam segala arah (pada ruang vakum), tidak bergantung pada gerak sumber cahaya maupun gerak pengamatnya.

Menurut Einstein, penjumlahan kecepatan relatif yang mendekati kecepatan cahaya adalah:

$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 \times v_2}{c^2}}$$

dengan,

v_1 = kecepatan benda pertama terhadap tanah (m/s)
v_2 = kecepatan benda kedua terhadap benda pertama (m/s)
v = kecepatan benda kedua terhadap tanah (m/s)
c = kecepatan cahaya dalam ruang hampa (3×10^8 m/s).

B. KONTRAKSI LORENTZ

Sebuah benda akan terlihat lebih panjang bila seorang pengamat yang diam terhadap benda, dan akan terlihat lebih pendek jika pengamat bergerak relatif terhadap benda.

Kontraksi panjang (kontraksi Lorentz) dinyatakan:

$$L = \frac{L_0}{\gamma} = L_0\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

dengan,

L_0 = panjang benda menurut pengamat yang diam relatif terhadap benda (m)

L = panjang benda menurut pengamat yang bergerak relatif terhadap benda (m)

v = kecepatan relatif pengamat terhadap benda atau sebaliknya (m/s)

c = kecepatan cahaya dalam ruang hampa (3×10^8 m/s).

C. DILATASI WAKTU (PEMULURAN)

Bagi pengamat yang bergerak, selang waktu yang diamati akan terasa lebih lama jika dibanding pengamat yang diam. Hal ini dikenal dengan istilah dilates waktu. Dilatasi atau pemuluran waktu dinyatakan:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

dengan,

Δt_0 = selang waktu yang diamati pengamat yang diam (s)

Δt = selang waktu yang diamati pengamat bergerak (s)

v = kecepatan relatif pengamat yang bergerak terhadap pengamat yang diam.

c = kecepatan cahaya dalam ruang hampa (3×10^8 m/s)

D. MASSA RELATIVISTIK

Massa yang diamati oleh pengamat yang bergerak terhadap benda (m) adalah lebih besar dibandingkan dengan massa yang diamati oleh pengamat yang diam (m_0). Massa relativistik ini dinyatakan dalam persamaan:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

dengan,

m = Massa yang diamati oleh pengamat yang bergerak terhadap benda (kg)

m_0 = massa yang diamati oleh pengamat yang diam (kg)

c = kecepatan cahaya dalam ruang hampa (3×10^8 m/s)

v = Kecepatan benda (m/s)

E. KESETARAAN MASSA DAN ENERGI

Einstein mengemukakan bahwa ada kesetaraan antara massa dan energi. Jika suatu partikel memiliki massa m berarti partikel itu memiliki energi sebesar:

$$E = mc^2$$

dengan,

E = energi total benda (joule)

m = massa benda yang bergerak (kg)

c = kecepatan cahaya dalam ruang hampa (3×10^8 m/s).

Energi kinetik relativistik Ek sebuah benda yang bergerak sama dengan selisih energi total E dengan energi diamnya E_0.

$$Ek = E - E_0 = mc^2 - m_0 c^2 = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}} - 1 \right)$$

dengan, $E_0 = m_0c^2$ = energi diam benda (joule).

1. Sebuah pesawat ruang angkasa bergerak dengan kecepatan 0,6c meninggalkan bumi. Dari pesawat tersebut ditembakkan peluru dengan kecepatan 0,5c (c = kecepatan cahaya di ruang hampa). Berapa kecepatan peluru menurut pengamat di bumi jika arah peluru searah pesawat...

   A. 0,75 c
   B. 0,85 c
   C. 0,95 c
   D. 0,88 c
   E. 0,55 c

   Jawaban: B

   Menurut pengamat/pilot pesawat A:
   - kecepatan pesawat relatif terhadap pengamat di bumi, $v_1 = 0{,}6$ c
   - kecepatan peluru terhadap pesawat, $v_2 = 0{,}5$ c

   Maka, kecepatan peluru menurut pengamat di bumi adalah:

$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 \times v_2}{c^2}}$$
$$= \frac{0{,}6c + 0{,}5c}{1 + \frac{0{,}6c \times 0{,}5c}{c^2}}$$
$$= \frac{1{,}1}{1{,}3} c$$
$$= 0{,}85\ c.$$

2. Pesawat bergerak dengan kecepatan v, ternyata panjang pesawat menjadi 0,8 kali panjang diamnya. Jika c = kecepatan cahaya, maka kecepatan pesawat adalah . . .

   A. 0,4 c
   B. 0,5 c
   C. 0,6 c
   D. 0,7 c
   E. 0,8 c

   Jawaban: C

- panjang pesawat menurut pengamat diam = L_0
- panjang pesawat saat pesawat bergerak relatif terhadap pengamat, $L = 0{,}8 \times L_0$

$$L = L_0\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

Kecepatan pesawat relatif terhadap pengamat adalah:

$$v = \sqrt{1-\left(\frac{L}{L_0}\right)^2} \times c$$

$$v = \sqrt{1-\left(\frac{0{,}8L_0}{L_0}\right)^2} \times c$$

$$v = \sqrt{1-0{,}64} \times c$$

$v = 0{,}6\ C.$

3. Perbandingan dilatasi waktu antara sistem yang bergerak pada kecepatan 0,8 c dengan sistem yang bergerak pada kecepatan 0,6c adalah . . .

A. 3 : 4
B. 4 : 3
C. 9 : 2
D. 9 : 16
E. 16 : 9

Jawaban: B

- kecepatan benda pertama, $v_1 = 0{,}8c$
- kecepatan benda kedua, $v_2 = 0{,}6c$

Perbandingan dilatasi waktu kedua benda adalah:

$$\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1-\left(\frac{v_1}{c}\right)^2}} : \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1-\left(\frac{v_2}{c}\right)^2}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{0{,}8c}{c}\right)^2}} : \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{0{,}6c}{c}\right)^2}}$$

$$= \frac{1}{0,6} : \frac{1}{0,8}$$
$$= \frac{0,8}{0,6}$$
$$= \frac{4}{3}$$
$$= 4 : 3$$

4. Sebuah partikel bermassa diam m_0 bergerak dengan kecepatan 0,6c. Energi kinetik partikel tersebut adalah . . .

A. $\frac{1}{4} m_0 c^2$

B. $\frac{1}{3} m_0 c^2$

C. $\frac{1}{2} m_0 c^2$

D. $\frac{2}{3} m_0 c^2$

E. $\frac{3}{4} m_0 c^2$

Jawaban: A

- massa diam partikel = m_0
- kecepatan partikel, v = 0,6c

Energi kinetik partikel tersebut adalah:

$$Ek = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} - 1 \right)$$

$$= m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,6c}{c}\right)^2}} - 1 \right)$$

$$= m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{0{,}64}} - 1 \right)$$

$$= m_0 c^2 \left(\frac{10}{8} - 1 \right)$$

$$= \frac{2}{8} m_0 c^2$$

$$= \frac{1}{4} m_0 c^2$$

5. Kecepatan roket pada saat panjangnya memendek 1% dari panjang semula adalah . . .

A. 0,112 c
B. 0,121 c
C. 0,141 c
D. 0,211 c
E. c

Jawaban: D

Menurut pengamat/pilot pesawat A:

- panjang pesawat menurut pengamat diam = L_0
- panjang roket saat bergerak relatif terhadap pengamat, L = 99% $\times L_0$

Panjang relative roket adalah :

$$L = L_0 \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c} \right)^2}$$

Kecepatan roket relatif terhadap pengamat adalah:

$$v = \sqrt{1 - \left(\frac{L}{L_0} \right)^2} \times c$$

$$= \sqrt{1 - \left(\frac{99\% \times L_0}{L_0} \right)^2} \times c$$

$$= \sqrt{1 - \left(\frac{99}{100} \right)^2} \times c$$

$$= 1\sqrt{1-\frac{9801}{10000}} \times c$$

$$= \sqrt{\frac{199}{10000}} \times c$$

$$= \frac{14,1}{100} \times c$$

$$= 0,141\ c.$$

6. Bila laju partikel 0,6 c, maka perbandingan massa relativistik partikel itu terhadap massa diamnya adalah . . .

A. 25 : 4
B. 25 : 9
C. 5 : 3
D. 5 : 4
E. 8 : 5

Jawaban: D

- kecepatan partikel, v = 0,8c

Massa relativistic dinyatakan :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

maka perbandingan massa relativistik partikel terhadap massa diamnya adalah:

$$\frac{m}{m_0} = \frac{m_0}{m_0\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

$$\frac{m}{m_0} = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{0,6c}{c}\right)^2}}$$

$$\frac{m}{m_0} = \frac{1}{0,8}$$

$$\frac{m}{m_0} = 5 : 4.$$

7. Suatu partikel bergerak dengan kecepatan $\frac{3}{5}c$. Jika energi diam partikel E_0, maka energi kinetik partikel adalah . . .

A. ¼ E_0
B. E_0
C. $2E_0$
D. $3E_0$
E. $4E_0$

Jawaban: A

- kecepatan partikel, $v = \frac{3}{5}c$
- energi diam partikel = E_0.

Energi kinetik partikel adalah:

$E_k = E - E_0$

$= mc^2 - m_0c^2$

$$= m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}} - 1 \right)$$

$$= m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{0,6c}{c}\right)^2}} - 1 \right)$$

$$= m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{0,64}} - 1 \right)$$

$$= m_0 c^2 \left(\frac{1}{0,8} - 1 \right)$$

$$= \frac{1}{4} m_0 c^2$$

$$= \frac{1}{4} E_0.$$

8. Sebuah kubus memiliki volume sejati 1000 cm^3. Berapa volume kubus tersebut jika diamati oleh seorang pengamat yang bergerak dengan kecepatan 0,8c relatif terhadap kubus dalam arah sejajar salah satu rusuknya adalah ...

A. 100 cm^3
B. 300 cm^3
C. 400 cm^3
D. 500 cm^3
E. 600 cm^3

Jawaban: E

- volume kubus menurut pengamat yang diam relatif terhadap benda, $V_0 = 1000\ cm^3$
- kecepatan pengamat relatif terhadap kubus, v = 0,8 c

JIka $V_0 = r_0^3$, maka panjang rusuk kubus menurut pengamat yang diam relatif terhadap benda adalah:

$$r_0 = \sqrt[3]{V_0}$$
$$= 1\sqrt[3]{1000\ cm^3}$$
$$= 10\ cm$$

Panjang rusuk kubus menurut pengamat yang bergerak relatif terhadap benda yang serah dengan gerak adalah:

$$r = r_0\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}$$
$$= 10\ cm\sqrt{1-\left(\frac{0{,}8c}{c}\right)^2}$$
$$= 10\ cm\sqrt{1-\frac{0{,}64\,c^2}{c^2}}$$
$$= 10\ cm \times 0{,}6$$
$$= 6\ cm.$$

Volume kubus menurut pengamat yang bergerak relatif terhadap kubus adalah:

$$V = r_0 \cdot r_0 \cdot r$$
$$= 10 \cdot 10 \cdot 6$$
$$= 600\ cm^3.$$

9. Sebuah partikel mempunyai energi relativistik total 10 GeV dan momentum relativistik 8 GeV/c. Massa diam partikel itu ialah . . .

A. 0,25 GeV/c^2
B. 1,20 GeV/c^2
C. 2,00 GeV/c^2
D. 6,00 GeV/c^2
E. 16,0 GeV/c^2

Jawaban: D

- energi relativistik partikel, E = 10 GeV
- momentum relativistik partikel, p = 8 GeV/c

Massa diam partikel tersebut dapat ditentukan sebagai berikut.

$E_0^2 = E^2 - p_2 \times c_2$

$(m_0 c^2)^2 = (10 \text{ GeV})^2 - (8 \text{ GeV})^2 \times c^2$

$(m_0 c^2)^2 = 100 (\text{GeV})^2 - 64 (\text{GeV})^2$

$(m_0 c^2)^2 = 36 (\text{GeV})^2$

$(m_0 c^2) = 6 \text{ GeV}$

$\Leftrightarrow m_0 = 6 \text{ GeV}/c^2$.

10. Sebuah benda yang berkecepatan 0,6 c memiliki energi total (1,5 $\times$ 10^{-3} gram) c^2. Jika c adalah kecepatan cahaya, maka saat benda tersebut berkecepatan 0,8 c, energi total menjadi . . .

A. (2 $\times$ 10^{-3} gram) c^2
B. (1,5 $\times$ 10^{-3} gram) c^2
C. (1,2 $\times$ 10^{-3} gram) c^2
D. (1,13 $\times$ 10^{-3} gram) c^2
E. (9 $\times$ 10^{-4} gram) c^2

Jawaban: A

- kecepatan awal benda, $v_1 = 0{,}6\ c$
- energi total awal benda, $E_1 = (1{,}5 \times 10^{-3} \text{ gram})\ c^2$
- kecepatan akhir benda, $v_2 = 0{,}8\ c$

Energi total akhir benda menjadi:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{\sqrt{1-\left(\frac{v_1}{c}\right)^2}}{\sqrt{1-\left(\frac{v_2}{c}\right)^2}}$$

$$= \frac{\sqrt{1-\frac{(0{,}6\ c)^2}{c^2}}}{\sqrt{1-\frac{(0{,}8\ c)^2}{c^2}}}$$

$$= \frac{\sqrt{1-0{,}36}}{\sqrt{1-0{,}64}}$$

$$= \frac{\sqrt{0{,}64}}{\sqrt{0{,}36}}$$

$$= \frac{0{,}8}{0{,}6}$$

$$E_2 = \frac{0{,}8}{0{,}6} \times E_1$$

$$= \frac{0{,}8}{0{,}6} \times (1{,}5 \times 10^{-3}\ \text{gram})\ c^2$$

$$= (2 \times 10^{-3}\ \text{gram})\ c^2.$$

LATIHAN SOAL 24

1. Salah satu postulat realtivitas Einstein adalah . . .
   A. Kecepatan cahaya dalam vakum, sama untuk semua pengamat baik yang diam maupun bergerak
   B. Panjang benda di saat diam dan panjang benda saat bergerak tidak sama
   C. Selang waktu pengamat yang diam dan selang waktu pengamat yang bergerak tidak sama
   D. Semua gerakan benda di atas permukaan bumi mempunyai kecepatan mutlak
   E. Massa benda di saat diam dan benda disaat bergerak tidak sama

2. Dua benda bergerak dengan arah berlawanan dan kecepatan masing-masing ½ c dan ¼ c.
   Jika c = kecepatan cahaya, maka kecepatan benda pertama terhadap benda kedua sebesar . . .
   A. 0,750 c
   B. 0,666 c
   C. 0,500 c
   D. 0,125 c
   E. 0,250 c

3. Pesawat bergerak dengan kecepatan v, ternyata panjang pesawat menjadi 0,8 kali panjang diamnya. Jika c = kecepatan cahaya, maka kecepatan pesawat adalah . . .

A. 0,4 c
B. 0,5 c
C. 0,6 c
D. 0,7 c
E. 0,8 c

4. Panjang benda diukur saat bergerak menyusut 20 cm dari panjangnya saat diukur dalam keadaan diam. Jika panjang benda diukur dalam keadaan diam panjangnya 1 m dan c = kecepatan cahaya, maka kecepatan gerak benda tersebut adalah . . .
A. 0,2 c
B. 0,3 c
c. 0,4 c
D. 0,6 c
E. 0,8 c

5. Jarak dua kota di bumi adalah 800 km. Berapakah jarak kedua kota tersebut jika diukur dari pesawat antariksa yang terbang dengan kecepatan 0,6 c searah kedua kota?
A. 680 km
B. 670 km
C. 660 km
D. 650 km
E. 640 km

6. Sebuah pesawat angkasa diukur panjangnya 100 m ketika berada dalam keadaan diam terhadap seorang pengamat. Jika pesawat tersebut terbang terhadap pengamat dengan kecepatan 0,75 c, maka panjang pesawat yang bergerak menurut pengamat yang diam adalah . . .
A. 20 m
B. 30 m
C. 55 m
D. 66 m
E. 77 m

7. Periode suatu pendulum di muka bumi besarnya 3,0 detik. Jika pendulum tersebut diamati oleh seseorang yang bergerak relative terhadap bumi dengan kecepatan 0,95 c, maka periode pendulum tersebut dalam detik menjadi . . .
A. 0,5 s
B. 1,5 s
C. 9,6 s
D. 15,0 s
E. 300 s

8. Sebuah pesawat ruang angkasa yang panjangnya 6 m bergerak dengan kecepatan $2{,}7 \times 10^8$ m/s. Panjang pesawat menurut pengamat yang diam di bumi adalah . . .
   A. 1,9 m
   B. 2,6 m
   C. 4,0 m
   D. 8,0 m
   E. 19,0 m

9. Ada dua anak kembar *A* dan *B*. *A* berkelana ke antariksa dengan pesawat antariksa berkecepatan 0,8 c. Setelah 12 tahun berkelana *A* pulang ke bumi. Menurut *B* perjalanan *A* telah berlangsung selama . . .
   A. 20 tahun
   B. 15 tahun
   C. 12 tahun
   D. 10 tahun
   E. 8 tahun

10. Besarnya kecepatan gerak sebuah penggaris (mistar) dengan panjang 2 m agar panjangnya menjadi 1 m adalah . . .
   A. $\frac{1}{2}$c
   B. $\frac{1}{2}\sqrt{3}$ c
   C. $\frac{1}{3}$c
   D. $\frac{2}{3}$c
   E. $\frac{1}{3}\sqrt{2}$ c

11. Agar energi kinetik benda bernilai 25 % energi diamnya dan c adalah kelajuan cahaya dalam ruang hampa, maka benda harus bergerak dengan kelajuan . . .
   A. $\frac{1}{4}$c
   B. $\frac{1}{2}$c
   C. $\frac{3}{5}$c
   D. $\frac{3}{4}$c
   E. $\frac{4}{5}$c

12. Sebuah roket bergerak dengan kecepatan 0,8 c. Jika roket dilihat oleh pengamat yang diam, panjang roket itu akan tampak menyusut sebesar . . .

A. 20%
B. 30%
C. 40%
D. 60%
E. 64%

13. Sebuah baut mempunyai massa diam m_0 bergerak dengan kecepatan mendekati kecepatan cahaya sehingga massanya menjadi 1¼ × massa diamnya. Jika kecepatan cahaya c, maka energi kinetis benda itu adalah . . .
A. $1{,}5\ m_0c^2$
B. $1{,}25\ m_0c^2$
C. m_0c^2
D. $0{,}5\ m_0c^2$
E. $0{,}25\ m_0c^2$

14. Perbandingan dilatasi waktu untuk sistem yang bergerak dengan kecepatan 0,8 c dengan sistem yang bergerak pada kecepatan 0,6 c adalah . . .
A. 16 : 9
B. 9 : 16
C. 9 : 2
D. 4 : 3
E. 3 : 4

15. Sebuah partikel bergerak dengan laju $v = \frac{1}{2}\sqrt{3}\ c$. Jika m_0 = massa diam, m = massa gerak, E_k = energi kinetik, dan E_0 = energi diam, maka berlaku . . .
A. $m = ½\ m_0 ; E_k = ½\ E_0$
B. $m = 4/3\ m_0 ; E_k = E_0$
C. $m = 2\ m_0 ; E_k = E_0$
D. $m = 3/2\ m_0 ; E_k = E_0$
E. $m = 2\ m_0 ; E_k = 2\ E_0$

16. Sebuah benda mempunyai massa diam 2 kg. Jika benda bergerak dengan kecepatan 0,6 c, maka massanya akan menjadi . . .
A. 2,6 kg
B. 2,5 kg
C. 2,0 kg
D. 1,6 kg
E. 1,2 kg

17. Sebuah pesawat antariksa bergerak secara relativistik. Jika pada suatu saat energi kinetisnya adalah 1/12 kali energi diamnya, maka laju pesawat pada saat itu adalah . . .

A. $\frac{5}{13}c$

B. $\frac{5}{12}c$

C. $\frac{7}{12}c$

D. $\frac{7}{13}c$

E. $\frac{12}{13}c$

18. Laju sebuah elektron yang massanya 10 kali massa diamnya adalah . . .

A. 2×10^8 m/s

B. $2{,}98 \times 10^8$ m/s

C. 4×10^8 m/s

D. $2{,}98 \times 10^9$ m/s

E. 3×10^9 m/s

19. Sebuah benda dengan massa m0 bergerak dengan kecepatan 0,6 c, di mana c = laju cahaya di ruang hampa. Dengan demikian persentase pertambahan massa benda yang bergerak tersebut adalah . ..

A. 8%

B. 10%

C. 25%

D. 75%

E. 125%

20. Jika massa benda yang bergerak dengan kecepatan 0,6 c akan berubah menjadi *n* kali massa diamnya, maka *n* adalah . . .

A. 3

B. $\sqrt{2}$

C. $\sqrt{3}$

D. 1,25

E. 0,80

21. Laju dari benda bergerak supaya massanya dua kali massa diamnya adalah . . .

A. $\frac{1}{2}c$

B. c

C. 2c

D. $\frac{1}{2}\sqrt{2}\,c$

E. $\frac{1}{2}\sqrt{3}\,c$

22 Jika massa diam sebuah partikel m_0 dan massa itu bergerak dengan kelajuan 0,8 c, Maka perbandingan massa diam terhadap massa bergeraknya adalah . . .

A. 5 : 3
B. 5 : 4
C. 5 : 6
D. 3 : 5
E. 4 : 5

23 Sebuah benda dalam keadaan diam panjangnya x_0, kemudian digerakkan dengan kecepatan v (mendekati kecepatan cahaya). Panjang benda menurut pengamat diam yang berada sejajar arah panjang benda adalah . . .

A. $x = x_0$
B. $x = x_0\sqrt{1+\frac{v^2}{c^2}}$
C. $x = x_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$
D. $x = \frac{x_0}{\sqrt{1+\frac{v^2}{c^2}}}$
E. $x = \frac{x_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$

24. Massa diam suatu benda m_0 dan massa bergeraknya *m*. Jika benda itu bergerak dengan kecepatan 0,6 c, maka hubungan m_0 dan m adalah . . .

A. $m_0 = 1{,}25$ m
B. $m_0 = 0{,}8$ m
C. $m_0 = 1{,}0$ m
D. $m_0 = 0{,}5$ m
E. $m_0 = 0{,}6$ m

25. Jika sebuah partikel memiliki massa diamnya m_0 bergerak dengan kelajuan 0,8 c, maka energi kinetiknya adalah . . .

A. $3/5\ m_0c^2$
B. $4/5\ m_0c^2$
C. m_0c^2
D. $5/4\ m_0c^2$
E. $5/3\ m_0c^2$

26. Partikel bergerak dengan kecepatan mendekati kecepatan cahaya. Jika energi kinetiknya = energi diamnya, maka kecepatan partikel itu adalah . . . .

A. c
B. 0,87 c
C. 0,7 c
D. 0,5 c
E. 0,25 c

27. Sebuah roket ketika diam di bumi panjangnya 100 m. Roket tersebut bergerak dengan kecepatan 0,8 c. Menurut pengamat di bumi, panjang roket tersebut selama bergerak adalah . . .

A. 40 m
B. 50 m
C. 60 m
D. 70 m
E. 80 m

28. Pada pemetaan lahan kompleks berbentuk persegi panjang dengan panjang 4,0 km dan lebar 2,5 km. Luas lahan jika diukur dari udara dengan kecepatan pesawat pengukur 0,6 c (searah panjang lahan) adalah . . .

A. 17,5 km^2
B. 16,6 km^2
C. 15,0 km^2
D. 12,5 km^2
E. 8,0 km^2

29. Dari besaran-besaran berikut ini, yang harganya selalu sama untuk semua kerangka acuan pengamat adalah . . .

A. Kecepatan benda
B. Kelajuan benda
C. Panjang benda
D. Massa benda
E. Kecepatan cahaya

30. Sebuah partikel yang bergerak dengan kelajuan 0,3 c terhadap kerangka acuan laboratorium, memancarkan sebuah elektron searah dengan kecepatan 0,3 c relatif terhadap partikel. Laju elektron tadi menurut kerangka acuan laboratorium paling dekat nilainya dengan . . .

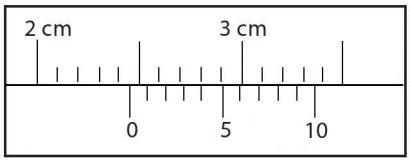
A. 0,76 c
B. 0,66 c
C. 0,52 c
D. 0,32 c
E. 0,12 c

SOAL EVALUASI

Fisika (bahasa Yunani: fysikós, "alamiah" atau fýsis, "alam") adalah ilmu tentang alam dalam makna yang terluas.

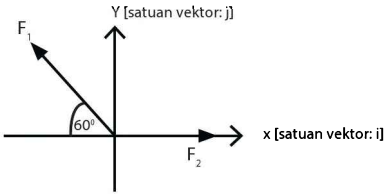
SOAL EVALUASI
FISIKA

1. Hasil pengukuran dengan menggunakan jangka sorong di bawah ini memiliki ukuran sebesar ….



A. (28,40 ± 0,05) mm
B. (28,00 ± 0,05) mm
C. (24,80 ± 0,01) mm
D. (24,40 ± 0,05) mm
E. (20,80 ± 0,01) mm

2. Vektor F_1 = 14 N dan F_2 = 10 N diletakkan pada diagram Kartesius seperti pada gambar.

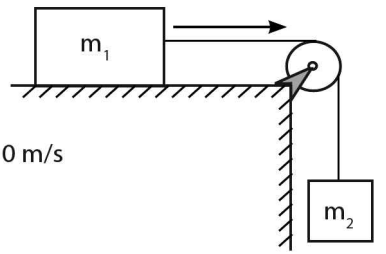


Resultan dinyatakan dengan vektor satuan adalah ….

A. $7\mathbf{i} + 10\sqrt{3}\ \mathbf{j}$
B. $7\mathbf{i} + 10\mathbf{j}$
C. $3\mathbf{i} + 7\sqrt{3}\ \mathbf{j}$
D. $3\mathbf{i} + 10\mathbf{j}$
E. $3\mathbf{i} + 7\mathbf{j}$

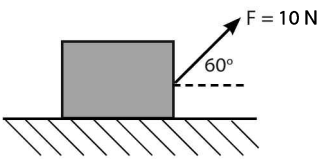
3. Wawan bermassa 40 kg berada dalam lift yang sedang bergerak ke atas. Jika gaya lantai lift terhadap kaki Wawan 520 N dan percepatan gravitasi 10 ms^{-2}, percepatan lift tersebut adalah ….
A. 1,0 m/s^{-2}
B. 1,5 m/s^{-2}
C. 2,0 m/s^{-2}
D. 2,5 m/s^{-2}
E. 3,0 m/s^{-2}

4. Perhatikan gambar di bawah!



Massa balok masing-masing $m_1 = 6$ kg dan $m_2 = 4$ kg serta massa katrol diabaikan. Jika permukaan bidang licin dan g = 10 $m.s^{-2}$, percepatan sistem adalah ....
A. 0,5 $m.s^{-2}$
B. 2,0 $m.s^{-2}$
C. 2,5 $m.s^{-2}$
D. 4,0 $m.s^{-2}$
E. 5,0 $m.s^{-2}$

5. Pada gambar di bawah, benda berpindah sejauh 8 meter.



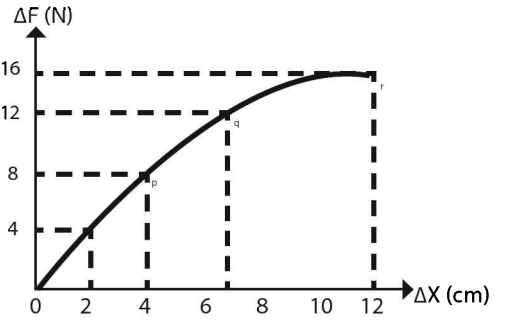
Besar usaha yang dilakukan gaya F tersebut adalah ... joule.

A. $40\sqrt{3}$
B. 40
C. $20\sqrt{3}$
D. $20\sqrt{2}$
E. 20

6. Benda bermassa 1 kg dijatuhkan dari ketinggian 20 meter. Kecepatan benda saat sampai di tanah adalah ....
   A. 2 m/s
   B. 10 m/s
   C. 15 m/s
   D. 20 m/s
   E. 40 m/s

7. Sebuah meja yang massanya 10 kg mula-mula diam di atas lantai licin, kemudian didorong selama 3 sekon sehingga bergerak lurus dengan percepatan 2 $m.s^{-2}$. Besar usaha yang terjadi adalah ….
   A. 20 joule
   B. 30 joule
   C. 60 joule
   D. 180 joule
   E. 360 joule

8. Perhatikan grafik hubungan gaya ΔF dengan pertambahan panjang Δx pada suatu pegas di bawah!



Berdasarkan grafik, maka pegas tetap akan bersifat elastis pada gaya tarik sebesar ….
   A. 0 sampai 4 N
   B. 0 sampai 8 N
   C. 0 sampai 12 N
   D. 8 N sampai 12 N
   E. 8 N sampai 16 N

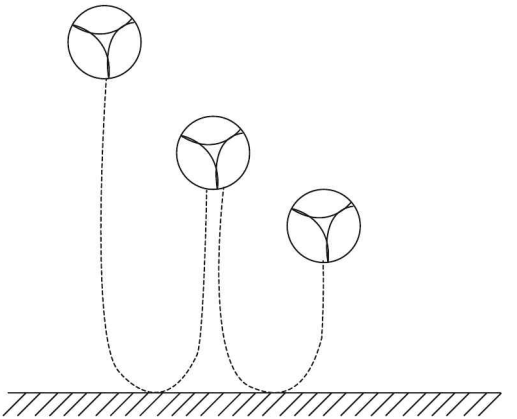
9. Percobaan menggunakan tali karet yang digantung beban menghasilkan data sebagai berikut.

Percobaan	F (N)	Δx (cm)
1	15	5
2	27	9
3	36	12

F = gaya oleh beban; Δx = pertambahan panjang tali karet. Dapat disimpulkan karet memiliki tetapan elastisitas sebesar ….

A. 27 $N.m^{-1}$
B. 36 $N.m^{-1}$
C. 75 $N.m^{-1}$
D. 245 $N.m^{-1}$
E. 300 $N.m^{-1}$

10. Sebuah bola dijatuhkan dari ketinggian X seperti pada gambar di bawah.



Jika ketinggian bola pada saat pantulan pertama 50 cm dan pantulan kedua 20 cm, besar X adalah ….

A. 60 cm
B. 70 cm
C. 100 cm
D. 125 cm
E. 150 cm

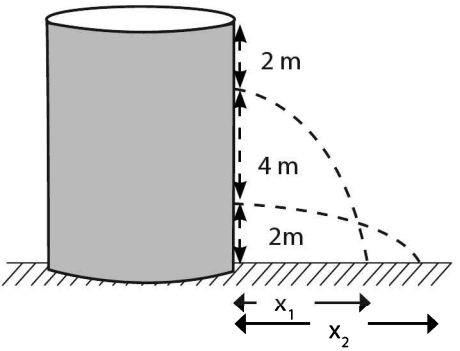
11. Benda bermassa 5 kg dilempar vertikal ke atas dengan kecepatan awal 20 m/s. Besarnya energi kinetik benda saat di titik dengan ketinggian 12 m adalah ….

A. 200 J
B. 250 J
C. 300 J
D. 350 J
E. 400 J

12. Ardi melempar sebuah bola yang massanya 40 gram secara horizontal menuju dinding tembok. Jika bola dipantulkan dengan laju yang sama namun berlawanan arah, besar perubahan momentum bola adalah ....

A. 2 Ns
B. 3 Ns
C. 4 Ns
D. 5 Ns
E. 6 Ns

13. Perhatikan gambar aliran kebocoran bak besar berikut!

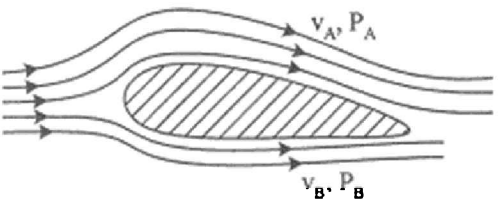


Fluida mengalir melalui lubang kecil pada dinding bak (lihat gambar).

Perbandingan $x_1 : x_2$ adalah ....

A. 3 : 2
B. 2 : 3
C. 1 : 3
D. 1 : 2
E. 1 : 1

14. Sayap pesawat terbang dirancang agar memiliki gaya angkat ke atas maksimal seperti gambar.



Jika v adalah kecepatan aliran udara dan P adalah tekanan udara, maka sesuai dengan azas Bernoulli, rancangan tersebut dibuat agar ....

A. $v_A > v_B$ sehingga $P_A > P_B$
B. $v_A > v_B$ sehingga $P_A < P_B$
C. $v_A < v_B$ sehingga $P_A < P_B$
D. $v_A < v_B$ sehingga $P_A > P_B$
E. $v_A > v_B$ sehingga $P_A = P_B$

15. Air bermassa 200 gram dan bersuhu 30°C dicampur air mendidih bermassa 100 gram dan bersuhu 90°C (kalor jenis air = 1 kal $gram^{-1}°C^{-1}$). Suhu air campuran pada saat keseimbangan termal adalah ....

A. 10°C
B. 30°C
C. 50°C
D. 75°C
E. 150°C

16. Faktor-faktor berikut memengaruhi laju perpindahan kalor secara konduksi pada sebuah logam, *kecuali* ....

A. panjang penghantar
B. luas penampang
C. konduktivitas termal
D. emisivitas
E. perbedaan suhu

17. Suatu gas ideal mula-mula menempati ruang yang volumenya V pada suhu T dan tekanan P. Jika gas dipanaskan sehingga suhu gas menjadi 3/2 T dan tekanan menjadi 4/3 P, volume gas menjadi ....

A. 9/5V
B. 5/3V
C. 3/2 V
D. 4/3 V
E. 9/8 V

18. Sebuah mesin carnot bekerja pada reservoir suhu tinggi 800 K mempunyai efisiensi 50%. Agar efisiensi mesin menjadi 80% dengan suhu reservoir rendah tetap, maka reservoir suhu tinggi harus dinaikkan menjadi ....
A. 1.600 K
B. 2.000 K
C. 2.400 K
D. 4.000 K
E. 6.400 K

19. Suatu gelombang berjalan dengan persamaan simpangan $Y = 4 \times 10^{-4}$ sin π (10^3 t – 5x) dengan y dan x dalam meter, t dalam sekon. Cepat rambat gelombang tersebut adalah … m/s.
A. 100
B. 150
C. 200
D. 210
E. 400

20. Perhatikan faktor-faktor berikut!
(1) Memperbesar massa jenis kawat
(2) Memperpanjang kawat
(3) Memperbesar tegangan kawat
(4) Memperbesar ukuran kawat
Faktor-faktor yang dapat mempercepat perambatan pada kawat adalah ….
A. (1), (2), (3), dan (4)
B. (1), (2), dan (3)
C. (3) dan (4)
D. (1) saja
E. (3) saja

21. Perhatikan jenis-jenis gelombang di bawah ini!
(1) Sinar x
(2) Ultraviolet
(3) Sinar gamma

(4) Infra merah
(5) Radio

Urutan yang benar dari jenis-jenis gelombang di atas dari energi yang paling rendah ke energi yang paling tinggi adalah ….

A. (1) - (2) - (3) - (4) - (5)
B. (2) - (4) - (5) - (1) - (3)
C. (5) - (3) - (1) - (4) - (2)
D. (4) - (5) - (1) - (3) - (2)
E. (5) - (4) - (2) - (1) - (3)

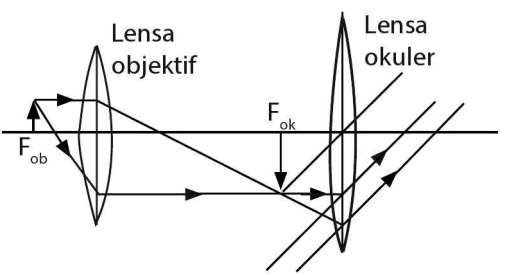
22. Sinar ultraviolet membahayakan kehidupan makhluk hidup, karena dapat menyebabkan ....

A. mutasi gen
B. kanker kulit
C. kebakaran hutan
D. pemanasan global
E. mencairnya es di kutub

23. Seberkas cahaya melewati sebuah kisi difraksi yang mempunyai 5.000 garis tiap sentimeter. Sudut bias orde kedua adalah 37^0. Panjang gelombang cahaya tersebut adalah … nanometer.

A. 600
B. 800
C. 900
D. 1.100
E. 1.200

24. Perhatikan diagram pembentukan bayangan pada mikroskop berikut!



Jarak benda terhadap lensa objektif 1,1 cm, jarak fokus objektif 1 cm, dan jarak fokus okuler 5 cm, maka perbesaran bayangan mikroskop tersebut adalah ....

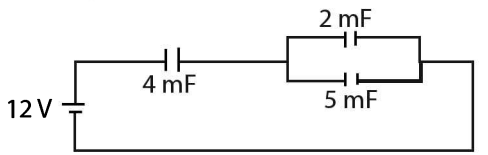
A. 25 kali
B. 30 kali
C. 40 kali
D. 50 kali
E. 55 kali

25. Seorang penerbang yang pesawatnya menuju menara bandara mendengar bunyi sirine menara dengan frekuensi 2.000 Hz. Jika sirine memancarkan bunyi dengan frekuensi 1.700 Hz dan cepat rambat bunyi di udara 340 m/s, maka kecepatan pesawat tersebut adalah … km/jam.
A. 236
B. 220
C. 216
D. 200
E. 196

26. Taraf intensitas sebuah gelombang bunyi pada jarak 10 m dari sumber adalah 60 dB. Tingkat intensitas pada jarak 100 m dari sumber tersebut adalah ….
A. 10 dB
B. 20 dB
C. 30 db
D. 40 dB
E. 50 dB

27. Dua buah muatan listrik $5{,}0 \times 10^{-6}$ C dan $-5{,}0 \times 10^{-6}$ C terpisah pada jarak 20 cm. Kuat medan listrik di titik P yang terletak pada garis hubung kedua muatan dan berjarak 5 cm dari muatan positif adalah ....
A. 2×10^{5} N/C
B. 2×10^{6} N/C
C. 2×10^{7} N/C
D. 5×10^{6} N/C
E. 6×10^{6} N/C

28. Besar energi listrik yang tersimpan dalam kapasitor 5 μF adalah ….



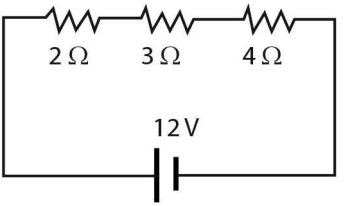
A. 9,0 μJ
B. 12,0 μJ
C. 15,0 μJ
D. 18,0 μJ
E. 22,5 μJ

29. Kapasitansi dari kapasitor keping sejajar akan bergantung pada:
    (1) Besar muatan listriknya
    (2) Luas permukaan keping
    (3) Beda potensial kedua keping
    (4) Jarak antara kedua keping

    Pernyataan yang benar adalah ....

    A. (1), (2), dan (3)
    B. (1) dan (3)
    C. (2) dan (4)
    D. (4) saja
    E. (1), (2), (3), dan (4)

30. Pada rangkaian listrik berikut!



    Besarnya tegangan pada hambatan 3 Ω adalah ....

    A. 2 V
    B. 3 V
    C. 4 V
    D. 5 V
    E. 6 V

31. Sebuah soleonida mempunyai panjang 20 cm dan terdiri atas 50 lilitan. Jika kuat medan magnet di tengah-tengah (pusat) soleonida $2\pi \times 10^{-4}$ T, kuat arus yang mengalir pada solenoida adalah ....

    A. 2 A
    B. 4 A
    C. 10 A
    D. 2×10^{-2} A
    E. 4×10^{-2} A

32. Induksi magnetik pada suatu titik yang berjarak 15 cm dari sebuah kawat lurus panjang berarus 30 A sebesar ... wb/m^2.

    A. $1{,}5 \times 10^{-5}$
    B. $2{,}0 \times 10^{-5}$
    C. $2{,}5 \times 10^{-5}$
    D. $3{,}0 \times 10^{-5}$
    E. $4{,}0 \times 10^{-5}$

33. Sebuah transformator yang efisiensinya 75% dan dihubungkan dengan tegangan primer 220 volt, menghasilkan tegangan sekunder 110 volt. Jika arus pada kumparan sekunder 2 A, arus pada kumparan primer adalah .... (dalam A)

A. 0,75
B. 0,80
C. 1,00
D. 1,20
E. 1,33

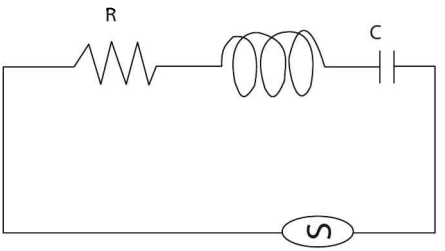
34. Perhatikan pernyataan berikut!

(1) Jumlah lilitan
(2) Kecepatan putaran
(3) Induksi magnet
(4) Hambatan kumparan

Faktor-faktor yang memengaruhi besaranya GGL pada generator adalah ....

A. (1), (2), dan (3)
B. (1), (2), dan (4)
C. (1) dan (4)
D. (2) dan (4)
E. (4) saja

35. Perhatikan gambar di bawah! R = 300 Ω, L = 0,9 H dan C = 2 μF dihubungkan seri dengan tegangan efektif 250 volt. Jika kecepatan sudut = 1.000 $rads^{-1}$, kuat arus efektif yang mengalir dalam rangkaian adalah ....



A. 0,5 A
B. 1 A
C. 1,5 A
D. 2 A
E. 2,5 A

36. Zat radioisotop C-14 dapat digunakan untuk ....
    A. mendeteksi fungsi kelenjar gondok
    B. mengetahui efektivitas kerja jantung
    C. membunuh sel kanker
    D. mendeteksi pemalsuan keramik
    E. menentukan usia fosil

37. Perhatikan pernyataan berikut!
    (1) Peristiwa efek fotolistrik dapat dijelaskan dengan menganggap cahaya terdiri atas paket-paket energi.
    (2) Peristiwa efek fotolistrik dapat membuktikan bahwa cahaya dapat berperilaku sebagai gelombang.
    (3) Energi elektron yang keluar dari permukaan logam bergantung pada frekuensi.
    (4) Peristiwa efek fotolistrik terjadi pada sekitar daerah inframerah.

    Pernyataan yang benar tentang efek fotolistrik adalah ....
    A. (1) dan (2)
    B. (1) dan (3)
    C. (1) dan (4)
    D. (2) dan (3)
    E. (2) dan (4)

38. Sebuah partikel bergerak dengan laju $v = \frac{1}{2} c \sqrt{3}$, c = kelajuan cahaya dalam vakum.
    Jika m_0 = massa diam, m = massa gerak, Ek = energi kinetik, L_0 = energi diam, maka berlaku ....
    A. $m = \frac{1}{2} m_0$; $Ek = \frac{1}{2} E_0$
    B. $m = \frac{3}{4} m_0$; $Ek = E_0$
    C. $m = 2\ m_0$; $Ek = E_0$
    D. $m = 3/2\ m_0$; $Ek = E_0$
    E. $m = 2\ m_0$; $Ek = 2\ E_0$

39. Perhatikan reaksi fusi di bawah ini!

$$_{1}^{2}H + _{1}^{3}H \rightarrow _{2}^{4}He + _{0}^{1}n + Q$$

Jika: m H-2 = 2,01400 sma; m H-3 = 3,016000 sma; m He-4 = 4,002600 sma; m n = 1,008665 sma, banyak energi yang dibebaskan reaksi adalah ....

A. 74,20 MeV
B. 67,58 MeV
C. 36,40 MeV
D. 20,53 MeV
E. 17,44 MeV

40. Sebuah pesawat memiliki panjang 95 m saat diam di bumi. Ketika pesawat bergerak dengan kecepatan v, menurut pengamatan di bumi panjang pesawat adalah 76 m. Besar kecepatan v adalah ....

A. 0,25 c
B. 0,50 c
C. 0,60 c
D. 0,75 c
E. 0,80 c

KUNCI JAWABAN

BAB 1. PENGUKURAN BESARAN DAN SATUAN

1	C	11	B	21	D
2	D	12	B	22	C
3	A	13	D	23	C
4	B	14	A	24	C
5	C	15	B	25	D
6	D	16	C	26	B
7	D	17	B	27	D
8	D	18	C	28	D
9	A	19	D	29	D
10	D	20	C	30	C

BAB 2. KINEMATIKA

1	E	11	E	21	D
2	B	12	B	22	A
3	C	13	A	23	B
4	C	14	B	24	B
5	A	15	B	25	B
6	B	16	D	26	C
7	E	17	E	27	D
8	B	18	D	28	C
9	C	19	B	29	C
10	D	20	C	30	A

BAB 3. DINAMIKA GERAK DAN GAYA

1	B	11	E	21	A
2	D	12	C	22	A
3	A	13	A	23	C
4	A	14	A	24	D
5	C	15	E	25	D
6	E	16	C	26	E
7	C	17	E	27	C
8	B	18	C	28	D
9	C	19	B	29	D
10	A	20	B	30	E

BAB 4. GERAK MELINGKAR

1	A	11	A	21	C
2	B	12	B	22	B
3	C	13	A	23	C
4	D	14	A	24	B
5	B	15	A	25	D
6	D	16	C	26	B
7	A	17	B	27	C
8	C	18	C	28	A
9	E	19	C	29	B
10	E	20	C	30	C

BAB 5. GRAVITASI NEWTON DAN ELASTISITAS

1	E	11	A	21	D
2	C	12	E	22	C
3	B	13	D	23	B
4	D	14	E	24	C
5	B	15	A	25	A
6	D	16	D	26	E
7	A	17	B	27	E
8	A	18	C	28	E
9	B	19	D	29	A
10	A	20	E	30	B

BAB 6. USAHA DAN ENERGI

1	E	11	D	21	B
2	D	12	C	22	E
3	D	13	E	23	D
4	C	14	A	24	B
5	B	15	D	25	D
6	D	16	A	26	D
7	B	17	D	27	C
8	E	18	B	28	B
9	D	19	B	29	E
10	B	20	B	30	C

BAB 7. MOMENTUM DAN IMPULS

1	A	11	E	21	B
2	C	12	B	22	A
3	D	13	A	23	D
4	D	14	C	24	E
5	D	15	C	25	A
6	B	16	C	26	E
7	C	17	A	27	D
8	C	18	D	28	B
9	D	19	D	29	B
10	B	20	C	30	A

BAB 8. BENDA TEGAR

1	A	11	E	21	C
2	E	12	E	22	A
3	A	13	E	23	C
4	D	14	B	24	B
5	A	15	A	25	C
6	A	16	C	26	D
7	C	17	C	27	B
8	E	18	D	28	C
9	B	19	E	29	C
10	E	20	C	30	D

BAB 9. FLUIDA

1	C	11	A	21	B
2	D	12	C	22	D
3	B	13	E	23	E
4	D	14	E	24	E
5	D	15	C	25	B
6	A	16	C	26	D
7	C	17	B	27	E
8	C	18	A	28	B
9	B	19	D	29	A
10	D	20	B	30	E

BAB 10. SUHU DAN KALOR

1	A	11	D	21	E
2	C	12	B	22	E
3	E	13	D	23	E
4	A	14	B	24	C
5	E	15	E	25	E
6	A	16	D	26	D
7	A	17	B	27	E
8	A	18	A	28	B
9	B	19	D	29	D
10	C	20	B	30	D

BAB 11. TEORI KINETIK GAS

1	B	11	C	21	A
2	A	12	D	22	E
3	D	13	E	23	C
4	C	14	D	24	C
5	D	15	C	25	C
6	A	16	B	26	B
7	E	17	C	27	C
8	D	18	A	28	B
9	C	19	C	29	C
10	A	20	A	30	D

BAB 12. TERMODINAMIKA

1	B	11	E	21	C
2	C	12	B	22	D
3	E	13	B	23	C
4	C	14	C	24	B
5	D	15	C	25	C
6	A	16	A	26	A
7	C	17	C	27	C
8	B	18	B	28	B
9	C	19	E	29	A
10	C	20	C	30	B

BAB 13 ELEKTROSTATIKA

1	B	11	D	21	B
2	B	12	A	22	D
3	A	13	C	23	A
4	D	14	E	24	E
5	C	15	C	25	E
6	C	16	E	26	D
7	B	17	E	27	B
8	E	18	C	28	C
9	E	19	C	29	D
10	C	20	D	30	B

BAB 14 ELEKTRODINAMIKA

1	C	11	C	21	A
2	B	12	B	22	D
3	C	13	D	23	B
4	B	14	A	24	B
5	C	15	C	25	D
6	B	16	E	26	E
7	B	17	C	27	A
8	B	18	A	28	A
9	C	19	D	29	C
10	E	20	A	30	D

BAB 15 MEDAN MAGNETIK

1	A	11	C	21	E
2	B	12	D	22	D
3	C	13	E	23	C
4	D	14	D	24	B
5	E	15	C	25	A
6	D	16	B	26	B
7	C	17	A	27	C
8	B	18	B	28	D
9	A	19	C	29	E
10	B	20	D	30	D

BAB 16 INDUKSI ELEKTROMAGNETIK

1	A	11	C	21	E
2	B	12	D	22	D
3	C	13	E	23	C
4	D	14	D	24	B
5	E	15	C	25	A
6	D	16	B	26	B
7	C	17	A	27	A
8	B	18	B	28	A
9	A	19	C	29	D
10	B	20	D	30	D

BAB 17 ARUS DAN TEGANGAN LISTRIK BOLAK-BALIK

1	E	11	C	21	A
2	D	12	B	22	B
3	C	13	A	23	C
4	B	14	B	24	D
5	A	15	C	25	E
6	B	16	D	26	D
7	C	17	E	27	C
8	D	18	D	28	B
9	E	19	C	29	A
10	D	20	B	30	B

BAB 18 GETARAN

1	A	11	C	21	E
2	B	12	D	22	D
3	C	13	E	23	C
4	D	14	D	24	B
5	E	15	C	25	A
6	D	16	B	26	B
7	C	17	A	27	C
8	B	18	B	28	D
9	A	19	C	29	E
10	B	20	D	30	D

BAB 19 GELOMBANG MEKANIK

1	E	11	C	21	A
2	D	12	B	22	B
3	C	13	A	23	C
4	B	14	B	24	D
5	A	15	C	25	E
6	B	16	D	26	D
7	C	17	E	27	C
8	D	18	D	28	B
9	E	19	C	29	A
10	D	20	B	30	A

BAB 20 GELOMBANG CAHAYA

1	A	11	C	21	E
2	B	12	D	22	D
3	C	13	E	23	C
4	D	14	D	24	B
5	E	15	C	25	A
6	D	16	B	26	B
7	C	17	A	27	C
8	B	18	B	28	D
9	A	19	C	29	E
10	B	20	D	30	D

BAB 21 OPTIKA GEOMETRI

1	A	11	C	21	E
2	B	12	D	22	D
3	C	13	E	23	C
4	D	14	D	24	B
5	E	15	C	25	A
6	D	16	B	26	B
7	C	17	A	27	C
8	B	18	B	28	D
9	A	19	C	29	E
10	B	20	D	30	D

BAB 22 DUALISME GELOMBANG PARTIKEL

1	A	11	C	21	E
2	B	12	D	22	D
3	C	13	E	23	C
4	D	14	D	24	B
5	E	15	C	25	A
6	D	16	B	26	B
7	C	17	A	27	C
8	B	18	B	28	D
9	A	19	C	29	E
10	B	20	D	30	D

BAB 23 INTI ATOM DAN RADIOAKTIVITAS

1	E	11	C	21	A
2	D	12	B	22	B
3	C	13	E	23	C
4	B	14	B	24	D
5	A	15	C	25	E
6	B	16	D	26	D
7	C	17	E	27	C
8	D	18	D	28	B
9	E	19	C	29	A
10	D	20	B	30	B

BAB 24 RELATIVITAS

1	A	11	C	21	E
2	B	12	D	22	D
3	C	13	E	23	C
4	D	14	D	24	B
5	E	15	C	25	A
6	D	16	B	26	B
7	C	17	A	27	C
8	B	18	B	28	D
9	A	19	C	29	E
10	B	20	D	30	D

KUNCI JAWABAN SOAL EVALUASI

1	D	21	E
2	C	22	B
3	E	23	A
4	D	24	D
5	B	25	C
6	D	26	D
7	C	27	C
8	C	28	E
9	E	29	B
10	D	30	C
11	D	31	A
12	B	32	E
13	E	33	E
14	B	34	A
15	B	35	C
16	D	36	D
17	A	37	B
18	B	38	C
19	C	39	C
20	B	40	C

DAFTAR PUSTAKA

Alonso - Finn, 1992, Dasar-dasar Fisika Universitas Edisi kedua (terjemahan), Jakarta: Penerbit Erlangga.

Alvin, H., 1998 ; 3000 Solved Problem in Physics, New York : McGraw–Hill Book Company.

Bueche, F.J 1991, Teori dan Soal-soal Fisika (terjemahan). Jakarta: Penerbit Erlangga.

Fishbane, P.M., Et all, 1993, Physics for Scientists and Engineers Extended Version, New Jersey: Prentice Hall, Inc.

Hakim L. Malasan-Moh. Ma'mur Tanudidjaja, Jagad Raya, Pelengkap Buku IPBA untuk SMU kelas 1, 2, 3. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, 1999.

Giancoli, Douglas C. 2000. Physics fr Scientist & Engineers Third Edition. USA: Prentice Hall International.

Halliday-Resnick, 1984, Fisika Jilid 2 Edisi ketiga (terjemahan), Jakarta: Penerbit Erlangga.

Kamajaya, dkk. 1989. Penuntun Pelajaran Fisika SMA. Bandung: Ganeca Exact.

Sears, Francis W., Mark W, Zemanky, dan Hugg D. Young. 1993. Fisika Universitas. Jakarta: Erlangga.

Sears, F.W-Zemarnsky, MW 1963, Fisika untuk Universitas (terjemahan), Bandung: Penerbit Bina Cipta.

Surya, Y, 1996, Olimpiade Fisika, Edisi Pertama, Jakarta: Penerbit PT. Primatika Cipta Ilmu.

Serway, R.A. dn Faughn, R. A. dan Faughn, J. S., 1999, College Physics,USA: Harcourt Brace College Publishers.

Standford, A. L. dan Tonner, J.M., 1985, Physics for Students of Science and Engineering, Orlando: Academic Press, Inc.

TENTANG PENULIS

Supadi, S.Si., M.Si.

lahir 18 September 1972 di Bojonegoro – Jawa Timur. Setelah menempuh pendidikan formal di SDN 1 Kedungadem, SMP N 1 Kedungadem dan SMA 1 Bojonegoro, penulis melanjutkan studi S1 Fisika, Universitas Airlangga dan S2 Fisika, ITS, Surabaya. Mulai tahun 1998 sampai sekarang, penulis menjadi staf pengajar Fisika, Departemen Fisika, Universitas Airlangga Surabaya. Mulai tahun 2004 sampai sekarang, penulis aktif menulis buku-buku pendamping pelajaran mulai tingkat SD-SMA.

Dewi Rossalia, S.Si., M.Pd.

Penulis lahir di Surabaya, Jawa Timur pada tanggal 29 Desember 1982. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 Fisika di Universitas Airlangga dan melanjutkan program Magister Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam di Unindra. Saat ini, penulis aktif sebagai guru swasta dan dosen di salah satu universitas di Depok. Penulis telah menghasilkan lebih dari 10 judul buku penunjang pelajaran dan masih aktif dalam penulisan buku di bidang pendidikan.

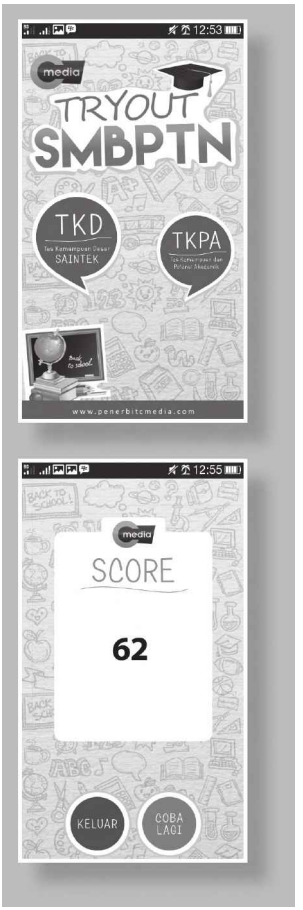
Yhoseph Gita Yun Yhuwana, S.Si., M.T.

Lahir 4 September 1973 di Sidoarjo, Jawa Timur. Setelah menempuh pendidikan formal di SMAN 1 Krembung, penulis melanjutkan studi S1 Fisika dan S2 Teknobiomedik, Universitas Airlangga. Mulai tahun 2003 sampai sekarang, penulis menjadi staf pengajar Fisika, Departemen Fisika, Universitas Airlangga. Mulai tahun 2014 sampai sekarang, penulis aktif menulis buku-buku pendamping pelajaran mulai tingkat SD-SMA.

APPS TRY OUT SBMPTN

Untuk download apps try out SBMPTN penerbit cmedia, Anda dapat melakukan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Buka Google Play search "Tryout SBMPTN" atau "Penerbit Cmedia"
2. Klik Tryout SBMPTN dari Penerbit Cmedia.
3. Klik Install.



APPS TOEFL CMEDIA

Untuk download apps toefl Cmedia, Anda dapat melakukan langkah-langkah sebagai berikut.

1. **Buka Google Play search "TOEFL CMEDIA" atau "Penerbit Cmedia".**
2. **Klik link "https://play.google.com/store/search?q=toefl%20cmedia&c=apps"**
3. **Klik TOEFL CMEDIA dari Penerbit Cmedia.**
4. **Klik Install.**

GEBYAR BEASISWA PENERBIT CMEDIA

Demi mewujudkan kepedulian dan keikutsertaan dalam membangun bangsa melalui bidang pendidikan, Penerbit Cmedia mempersembahkan **GEBYAR BEASISWA PENERBIT CMEDIA**. Penerbit Cmedia akan menyalurkan beasiswa dengan total nilai **100 juta rupiah** kepada siswa-siswi pilihan yang telah membeli buku-buku bertanda khusus yang diterbitkan oleh Penerbit Cmedia.

Adapun persyaratan yang harus dipenuhi siswa-siswi dalam mengajukan beasiswa sebagai berikut:

1. Struk/kuitansi pembelian buku ini.
2. Fotokopi nilai rapor semester terakhir.
3. Mengisi formulir asli yang terdapat di dalam buku ini.
4. Tulis "GBPC" di pojok kanan atas amplop.
5. *Like* **fans page PenerbitCmedia** dan *add* **facebook Penerbit Cmedia** sebagai teman.
6. *Follow* twitter **@penerbitcmedia.**

Dokumen persyaratan dikirim via pos ke alamat:
Redaksi Penerbit Cmedia
Jalan H. Montong No. 57 Ciganjur, Jagakarsa
Jakarta Selatan 12630

Periode 1
Untuk pengiriman sampai 15 Mei 2015, pengumuman beasiswa akan diumumkan tanggal 15 Juni 2015.

Periode 2
Untuk pengiriman sampai 15 November 2015, pengumuman beasiswa akan diumumkan tanggal 15 Desember 2015.

Periode 3
Untuk pengiriman sampai 15 Mei 2016, pengumuman beasiswa akan diumumkan tanggal 15 Juni 2016.

Periode 4
Untuk pengiriman sampai 15 November 2016, pengumuman beasiswa akan diumumkan tanggal 15 Desember 2016.

Periode 5
Untuk pengiriman sampai 15 Mei 2017, pengumuman beasiswa akan diumumkan tanggal 15 Juni 2017.

Periode 6
Untuk pengiriman sampai 15 November 2017, pengumuman beasiswa akan diumumkan tanggal 15 Desember 2017.

Daftar penerima beasiswa akan diumumkan melalui website:
www.penerbitcmedia.com

Keputusan tim seleksi dari Penerbit Cmedia mengenai beasiswa tersebut bersifat mutlak dan tidak dapat diganggu gugat.

Dokumen persyaratan dikirim via pos ke alamat:
Redaksi Penerbit Cmedia
Jalan H. Montong No. 57 Ciganjur, Jagakarsa
Jakarta Selatan 12630

FORMULIR PENGAJUAN BEASISWA
GEBYAR BEASISWA PENERBIT CMEDIA

Nama Lengkap : .....
Tempat, Tanggal Lahir : .....
Jenis Kelamin : .....
Alamat Rumah : .....
.....
.....
Nomor Telepon : .....
Email : .....

Alamat Sosial Media
Facebook : .....
Twitter : .....
Google + : .....

Nama Sekolah : .....
Alamat Sekolah : .....
.....
.....
Nomor Telepon Sekolah : .....
Nomor Induk Siswa : .....
Kelas : .....
Pelajaran yang Disukai : .....
Hobi : .....
Buku Pelajaran Favorit : .....
Cita-cita : .....

Formulir pengajuan beasiswa ini diisi dengan sebenar-benarnya.
Yang mengajukan beasiswa,

(.....)